

Перв. примен.	
Справ. №	

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г. Б. Масальский
подпись
«25» 06 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Разработка мультиагентной робототехнической системы

Руководитель L 22.06.16 проф., к.т.н. Н. Н. Ткачев
подпись, дата должность, учёная степень

Выпускник Л 22.06.16 Н. А. Латышенок
подпись, дата

Нормоконтролёр ВН 23.06.16 В. Н. Куликова
подпись, дата

Красноярск 2016

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Справ. №	Перв. примен.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме бакалаврской работы

Лист

3

Перв. примен.	Студенту <u>Латышонок Никите Андреевичу</u>																
	Группа <u>ФЭ12-08Б</u> Направление (специальность) <u>15.03.06 (Мехатроника и робототехника)</u>																
Справ. №	<u>«Роботы и робототехнические системы»</u>																
	Тема выпускной квалификационной работы <u>Разработка мультиагентной робототехнической системы</u> Утверждена приказом по университету № _____ от _____																
Подпись и дата	Руководитель ВКР <u>Ткачев Н.Н., канд. техн. наук., доц. каф. РИТК</u> Исходные данные для ВКР: <u>Робототехническая мультиагентная система, наземный мобильный робот, беспилотный летательный аппарат, 3D-сенсор.</u> Перечень разделов ВКР: Глава 1. Описание мультиагентных робототехнических систем Глава 2. Описание технических средств и объектов управления Глава 3. Кинематическая модель мобильного робота Глава 4. Управление мультиагентной робототехнической системой Глава 5. Экспериментальное исследование Глава 6. Экономическое обоснование проекта Глава 7. Безопасность и экологичность проекта																
	Перечень графического материала: Лист 1 – Функциональная схема мультиагентной робототехнической системы системы Лист 2 – Комплекта БПЛА Лист 3 – Функциональная схема мобильного робота Лист 4 – Интерфейс программы управления БПЛА Лист 5 – Обработка изображений с 3D-сенсора Лист 6 – Определение траектории колеса мобильного робота																
Инв. № дубл.	Руководитель ВКР _____ Ткачев Н. Н.																
Взам. инв. №	Задание принял к исполнению _____ Латышонок Н.А.																
Подпись и дата	« ____ » _____ 2016 г.																
Инв. № подл.																	
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						<table border="1"> <tr> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td>4</td> </tr> </table>	Лист	4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата													
Лист																	
4																	
БР – 15.03.06 ПЗ																	

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<div style="text-align: center;">РЕФЕРАТ</div> <p>Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка робототехнической мультиагентной системы» содержит 126 страниц текстового документа, 3 приложения, 14 использованных источников, 6 листов графического материала.</p> <p>МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ, БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ, МЕТОД ВОЛНОВОГО АЛГОРИТМА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ, 3D-СКАНЕР, БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ</p> <p>Цели проекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> – описание необходимых технических средств и их обоснование; – интеграция системы управления БПЛА; – разработка системы управления мобильным наземным роботом; – разработка верхнего уровня системы управления мультиагентнойробототехнической системы; – проведение экспериментальных исследований мультиагентной системы. 				

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						5

Перв. примен.	СОДЕРЖАНИЕ				
	ВВЕДЕНИЕ..... 8				
Справа. №	1 Описание мультиагентных робототехнических систем..... 9				
	1.1 Анализ существующих решений..... 9				
	1.2 Постановка задачи..... 13				
	2 Описание технических средств и объектов управления 14				
	2.1 Описание комплекта DJI 450KIT..... 14				
	2.1.1 Бесколлекторный электрический двигатель RCTimer 850kv 16				
	2.1.2 Регулятор оборотов DJI 30A. Принцип действия. 18				
	2.1.3 Полетный контроллер ArdupilotMega 2.6 22				
	2.1.4 Модули телеметрии 3D Robotics 26				
	2.1.5 Управляющая программа робота..... 27				
	2.2 Описание 3D-сенсора..... 31				
	2.2.1 Описание системы технического зрения 35				
	3 Кинематическая модель мобильного робота..... 41				
	4 Управление мультиагентной робототехнической системой 43				
	4.1 Алгоритм обработки изображения местности 44				
	4.2 Алгоритм поиска кратчайшего пути 49				
	4.3 Обмен данными 51				
	4.4 Система управления мобильным роботом 53				
	4.4.1 Оценка положения двигателя 54				
	4.4.2 Оценка скорости двигателя..... 54				
	4.4.3 Оценка положения робота..... 66				
	4.4.4 Оценка скорости робота 67				
	4.4.5 Регулятор скорости двигателя 67				
	4.4.6 Регулятор положения робота 68				
	5 Экспериментальное исследование 69				
	6 Технико-экономическое обоснование проекта 74				
	6.1 Расчет затрат на основное оборудование и программное обеспечение 73				
	6.2 Расчет фонда заработной платы разработчикам 74				
	6.3 Затраты на амортизацию оборудования 76				
	6.4 Расходы на аренду помещения 77				
	6.5 Смета затрат..... 77				
	7 Безопасность и экологичность проекта 79				
	7.1 Безопасность элементов робототехнических комплектов 80				
	7.1.1 Корпусные и крепежные элементы 80				
	7.1.2 Электродвигатели..... 80				
	7.1.3 Бортовые контроллеры 81				
	7.1.4 Аккумуляторные батареи 81				
	7.1.5 Зарядные устройства..... 82				
Инв. № подл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Подпись и дата					
Перв. примен.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ
					Лист
					6

Перв. примен.		<h2 style="text-align: center;">ВВЕДЕНИЕ</h2> <p>Область применения роботов в сфере научных исследований очень обширна, потому как они идеально подходят для выполнения задач, в решении которых человек бессилен. Как правило, для большинства таких заданий применяются одиночные роботы или же их группы, но каждое устройство действует независимо от других. Подобный подход позволяет решать отдельные несложные задачи, так как компенсирует ограниченные возможности и ресурсы одного робототехнического устройства, а так же устраняет возможные проблемы в выполнении задач, вызванные выходом его основных и дополнительных систем управления из строя, что положительно сказывается на надежности робототехнической системы в целом.</p> <p>В случаях, когда выполнение цели сопряжено с угрозой здоровью и жизни человека, а также при недостаточной профессиональной подготовке персонала для эффективного выполнения различных сложных задач в последнее время широко используют мультиагентные робототехнические системы. Последние представляют собой совокупность нескольких автоматизированных устройств и другого оборудования информационно и функционально связанных между собой в единое, автономно функционирующее целое. Такие объекты именуются интеллектуальными агентами.</p> <p>Однако указанные особенности робототехнической системы определяют высокую сложность ее проектирования и разработки. Учитывая, что в данном проекте пойдет речь о работе агентов в условиях чрезвычайных ситуаций без участия человека, система управления должна обеспечить получение и своевременную обработку информации о местности, характере движения одного или нескольких агентов сразу и контролировать их действия в целом, реализуя решение пространственных задач. Аналогичным образом выстраиваются требования к объектам робототехнической системы, функционал агентов обязан включать механизмы коммуникации внутри системы, помимо основного предназначения.</p> <p>Во время работы над дипломным проектом были разработаны модели и алгоритмы, формирующие и исследующие полноценную мультиагентную систему, которая апробирована в условиях изучения некоторой местности с выполнением дополнительных задач.</p>				
	Справ. №					
Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	<div style="text-align: right; padding-right: 20px;">БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <div>Лист</div> <div>8</div> </div> </div>	

Перв. примен.	<h1>1 Описание мультиагентных робототехнических систем</h1> <p>Теория мультиагентных систем это одно из развивающихся перспективных направлений искусственного интеллекта. Актуальность разработки мультиагентных систем определяется присутствием огромного класса прикладных пространственных задач, которые характеризуются высокой трудоемкостью исполнения, недетерминированностью и требованием работы в реальном времени, наличием множества часто изменяющихся условий.</p> <p>В труднодоступных или опасных для человека местах мобильные роботы обеспечивают возможность решения проблем, для которых требуется присутствие исполнительного устройства. Одной из причин возникновения таких ситуаций могут быть техногенные аварии и катастрофы, несущие такие последствия как химическое или радиоактивное заражение среды. Стихийные бедствия (когда требуется оперативно реализовать поиск нужной локации и оказать срочную помощь на непроходимых территориях), необходимость проведения исследований при проведении взрывотехнических и других опасных работ. Другим словом, практическую ценность приобретают задачи траекторного движения и поиска траектории в недетерминированной среде. Эти задачи можно эффективно решать при эксплуатации нескольких роботов, имеющих возможность функционировать одновременно и обмениваться информацией.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	<h2>1.1 Анализ существующих решений</h2> <p>Существует два принципиальных подхода к созданию робототехнических систем для решения вышеописанных задач:</p> <ul style="list-style-type: none">а) использование достаточно сложных многофункциональных робототехнических объектов в качестве одиночных роботов;б) использование групп роботов, каждый из которых обладает минимальным функционалом и является простым объектом. <p>В случае первого подхода, при увеличении сложности решаемой задачи и требований к надежности, производится расширение функционала робота и, соответственно, усложнение его отдельных функциональных компонентов, таких как вычислительные и информационно-управляющие устройства, сенсоры, актуаторы, источники питания.</p> <p>Хорошим примером реализации такой мультиагентной робототехнической системы может служить опыт разработки тактических роботов агентства DARPA (англ. DefenseAdvancedResearchProjectsAgency—агенство передовых оборонных исследовательских проектов). Проект разрабатывался для группового применения роботов в городских условиях, выполнявшийся в рамках программы «Тактические мобильные</p>		
Инв. № подл.					Лист
	БР – 15.03.06 ПЗ				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Перв. примен.	<p>робототехнические системы». Исследования были направлены на отработку командного взаимодействия группы, состоящей из людей и роботов. Система управления позволяла оператору управлять несколькими роботами из единого командного центра (переносного). Оператор задавал цель для каждого робота, а роботы перемещались к целям автономно. В группу входили робототехнические объекты различного назначения, разновидностей, которые представлены на рисунке 1.1</p>				
Справ. №					
	<p>Рисунок 1.1 – Группа тактических роботовDARPA</p>				
Подпись и дата	<p>Исследования проводились несколькими научными центрами в рамках таких программ управления DARPA как MobileAutonomusRobotSoftware (MARS) и TacticalMobileRobots (TMR). В данном случае верхний, самый интеллектуальный уровень управления, на котором осуществляется декомпозиция общей целевой задачи на отдельные подзадачи, реализуется оператором, а роботы, управляемые в супервизорном режиме, только решают их, адаптируясь к условиям среды, посредством обширного и дорогостоящего набора сенсорных систем.</p>				
Инв. № дубл.	<p>Вместе с тем была разработана система GRAMMPS (GeneralizedRoboticAutonomousMobileMissionPlanningSystem), предназначенная для решения задач планирования действий группы мобильных роботов в неструктурированных средах. Разработка финансировалась DARPA. Система была успешно продемонстрирована на реальной местности, на паре автономных тележек с минимальным набором функций.</p>				
Взам. инв. №	<p>Другим способом группового управления, применяемым для робототехнических систем, является управление «с ведущим» (рисунок1.2). При</p>				
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист 10

Перв. примен.	<p>использовании такого способа группового управления один из роботов является ведущим и управляется автономно или дистанционным оператором, а остальные — ведомые. Они управляются в режиме слежения за ведущим или командами, поступающими от ведущего робота. Способ группового управления «с ведущим» позволяет человеку-оператору, дистанционно управляя одним роботом (ведущим), фактически управлять целой группой роботов.</p>														
Справ. №	<div></div>														
<p>Рисунок 1.2 – Группа роботов с ведущим роботом</p>															
Подпись и дата	<p>Однако задача все еще решается одним роботом, способным справиться со всем спектром подзадач. При этом сложность всей системы быстро возрастает из-за увеличения количества связей как внутри компонентов, так и между ними. При таком подходе надежность системы в целом обуславливается надежностью наименее отказоустойчивой составляющей. Так при выходе из строя, например, источника питания автономного робота, последний не сможет продолжить выполнение поставленной задачи, несмотря на надежные сенсоры и актуаторы. Также при увеличении масштаба задачи – например, увеличении площади исследуемой территории – встает вопрос об ограниченности ресурсов отдельного робота. Разумным решением данной проблемы может показаться экспансивный подход, другими словами увеличение количества роботов на территории, но ввиду того что каждый такой робот является достаточно сложным, многосоставным и многофункциональным объектом, материальные затраты на реализацию такого подхода могут быть недопустимо высокими.</p>														
Инв. № дубл.	<p>Второй подход предполагает разделение подзадач не между функциональными компонентами одного робота, а между группой самостоятельных роботов. Каждый отдельный робот группы не способен решить задачу целиком и в одиночку, поскольку набор функций сильно ограничен, но</p>														
Взам. инв. №															
Подпись и дата															
Инв. № подл.															
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>										Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>11</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											

Перв. примен.	<p>это под силу всей системе в целом при совместной работе. При этом каждый робот остается относительно простым, что повышает надежность системы. Также надежность подобной системы можно легко повысить путем увеличения количества однотипных роботов. Таким образом, даже при выходе их строя одного или нескольких роботов, оставшиеся смогут продолжить решение поставленной подзадачи. Пример популярной задачи, решаемой методами группового управления, является построение и исследование карты полностью или частично детерминированной местности (рисунок1.3)</p>														
Справ. №															
Подпись и дата	<p>Рисунок 1.3 – Пример использования большой группы роботов.</p>														
Инв. № дубл.	<p>Каждый из агентов, пользуясь самым простейшим алгоритмом «правой руки» для прохода лабиринта двигается по неизвестной местности, одновременно посылая информацию другим роботам группы о пройденной траектории. Остальные агенты избегают уже пройденной траектории, находя новые доступные пути в изучаемой местности. Особенно актуальным групповое управление становится для такой области робототехники как микроробототехника. Из-за малых размеров микророботов их бортовые устройства управления имеют весьма ограниченные программно-аппаратные ресурсы. По этой же причине микророботы могут нести только очень небольшую полезную нагрузку. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что существующие методы и алгоритмы группового управления роботами даже в условиях организованных сред громоздки, сложны в вычислительном плане, трудно реализуемы в реальном времени и требуют значительных аппаратных</p>														
Взам. инв. №															
Подпись и дата															
Инв. № подл.															
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>										Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист 12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											
БР – 15.03.06 ПЗ															

Перв. примен.					
Справ. №					
Инв. № подл.					
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ
					Лист
					13

затрат, что зачастую несовместимо с требованиями бортового варианта устройств управления роботами.

Именно решению такой проблемы в таких сложных условиях и посвящено подавляющее большинство исследований, которые, в основном, финансируются силовыми и аварийно-спасательными ведомствами ведущих стран мира

1.2 Постановка задачи

В основу разработки дипломного проекта положена теория мультиагентных систем. В качестве основного метода реализации робототехнической системы выбран принцип распределенного решения поставленной задачи, когда процесс взаимодействия роботов-агентов обеспечивает решение задачи в целом.

- Для решения данной проблемы необходимо решить следующие задачи:
- 1) выбрать технические средства;
 - 2) интегрировать системы управления БПЛА;
 - 3) разработать систему управления мобильным наземным роботом;
 - 4) разработать верхний уровень системы управления мультиагентнойробототехнической системы;
 - 5) провести экспериментальные исследованиямультиагентной системы.

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">2 Описание технических средств и объектов управления</h2> <p>Каждый из робототехнических агентов реализован как автономная подвижная микроконтроллерная система, оборудованная набором датчиков, модулем спутниковой навигации GPS и модулем беспроводной передачи сигналов. Техническая реализация выполнена в форме двух робототехнических устройств, а именно комплекта беспилотного летающего аппарата фирмы DJI на базе микроконтроллерной платформы ArdupilotMega фирмы 3DROBOTICS и самостоятельно изготовленного мобильного робота с дифференциальным приводом на базе микроконтроллерной платформы Arduino. Так же неотъемлемой частью системы является 3D-сенсор Kinect фирмы Microsoft, который установлен на беспилотный летательный аппарат. За принятие информации непосредственно с сенсора отвечает одноплатный мини компьютер RaspberryPi на базе ARM процессора ARM11.</p> <h3 style="text-align: center;">2.1 Описание комплекта DJI450KIT</h3> <p>DJI 450KIT – набор для создания беспилотного летательного аппарата, производимый китайской фирмой DJI. Набор 450 KIT предназначен для развлекательных и образовательных целей. В набор входит все необходимое для сборки небольшого летательного аппарата в формфакторе «квадрокоптер» с 4 бесколлекторными электрическими двигателями. Дополнительно в комплект включен полетный контроллер ArdupilotMega.</p> <p>Общий вид летающего робота, собранного из комплекта DJI 450 KIT и рассматриваемого в данной работе, представлен на рисунке 2.1.</p> <p>В комплект DJI 450 KIT входят:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пластиковая рама, 1 шт. (рисунок 2.2а); – регуляторы оборотов электрического бесколлекторного двигателя, 4 шт. (рисунок 2.2б); – бесколлекторные электрические двигатели (вентильные) , 4 шт. (рисунок 2.2в); – модуль телеметрии 3DROBOTICS, 2 шт. (рисунок 2.2г); – модуль GPS 6m-NEO, 1 шт. (рисунок 2.2д); – контроллер ArdupilotMega версии 2.6, 1 шт. (рисунок 2.2е); – Li-Po аккумулятор (11.1V, 3300 mA/h), 1шт.; – кабели питания и связи; – корпусные и крепежные элементы; – зарядное устройство; – пластиковые пропеллеры, 4 шт.; – CD-диск с программным обеспечением, руководством по сборке; 																		
	Справ. №																		
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">Лист</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Изм.</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">№ докум.</td> <td style="text-align: center;">Подпись</td> <td style="text-align: center;">Дата</td> <td></td> <td style="text-align: center;">14</td> </tr> </table>											БР – 15.03.06 ПЗ	Лист	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14
					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист													
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14													

Перв. примен.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Перв. примен.	<p>это автономное перемещение в нужную точку пространства по указанным координатам навигационной системы GPS с полезной нагрузкой в виде 3D-сканера и подключенного к нему микрокомпьютера RaspberryPi.</p>															
	<p>Таблица 2.1 – Технические характеристики комплекта DJI 450 KIT</p> <table border="1"> <tr> <td>Масса</td> <td>0,8 кг</td> </tr> <tr> <td>Габариты</td> <td>170 × 100 × 400 мм</td> </tr> <tr> <td>Производство</td> <td>Китайская Народная Республика</td> </tr> <tr> <td>Число степеней свободы инерционного измерительного комплекса</td> <td>9 (комбинация 3-координатного акселерометра с 3-координатным гироскопическим модулем и 3-х координатным магнитометром)</td> </tr> <tr> <td>Управление</td> <td>Беспроводное (радио сигнал или bluetooth), автономный режим</td> </tr> <tr> <td>Датчики</td> <td>Гироскопический датчик, акселерометр, магнитометр, барометр, модуль навигации GPS.</td> </tr> </table>					Масса	0,8 кг	Габариты	170 × 100 × 400 мм	Производство	Китайская Народная Республика	Число степеней свободы инерционного измерительного комплекса	9 (комбинация 3-координатного акселерометра с 3-координатным гироскопическим модулем и 3-х координатным магнитометром)	Управление	Беспроводное (радио сигнал или bluetooth), автономный режим	Датчики
Масса	0,8 кг															
Габариты	170 × 100 × 400 мм															
Производство	Китайская Народная Республика															
Число степеней свободы инерционного измерительного комплекса	9 (комбинация 3-координатного акселерометра с 3-координатным гироскопическим модулем и 3-х координатным магнитометром)															
Управление	Беспроводное (радио сигнал или bluetooth), автономный режим															
Датчики	Гироскопический датчик, акселерометр, магнитометр, барометр, модуль навигации GPS.															
Справ. №	<p>2.1.1 Бесколлекторный электрический двигатель RCTimer 850kv</p> <p>Области применения бесколлекторных электродвигателей постоянного тока (БКЭПТ) непрерывно увеличиваются. Ввиду отсутствия в конструкции коллектора – значительно уменьшаются потери на коммутацию, поскольку контакты коллектора и щетки заменяются электронными ключами. Следствием этого являются превосходное соотношение массогабаритных характеристик и мощности БКЭПТ, их превосходные характеристики разгона, минимум затрат на техническое обслуживание и генерация малых акустических и электрических шумов относительно универсальных (коллекторных) электродвигателей постоянного тока (ЭПТ). Применение мощных неодимовых магнитов сделали бесколлекторные двигатели еще более компактными. Конструкция бесколлекторного двигателя позволяет эксплуатировать его в воде и агрессивных средах.</p> <p>Отличительные особенности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – надежное управление коммутацией без использования датчиков; – внешнее задание скорости; – детекция и защита от токовой перегрузки; – полный исходный код на Си; – несколько линий ввода-вывода и периферийных устройств не используются для управления двигателем и могут быть задействованы для 															
	<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата												
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	<p>БР – 15.03.06 ПЗ</p>		Лист											
					16											
Инв. № подл.																

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>других целей, как, например, управление светодиодами индикации состояния, организация передачи данных или интерфейса с пользователем;</p> <ul style="list-style-type: none"> – работает без модификации в составе совместимых по расположению выводов и по исходному коду микроконтроллеров. <p>Трехфазный БКЭПТ состоит из статора с определенным количеством обмоток. Трехфазный бесколлекторный электродвигатель постоянного тока RCTimer 850kv использует три обмотки. На рисунке 2.3 обмотки обозначаются, как U, V и W. У многих двигателей фундаментальное число обмоток умножается в целях уменьшения шага вращения и снижения пульсаций вращающего момента. Ротор БКЭПТ состоит из четного числа постоянных магнитов. Количество полюсов магнитов в роторе также определяет размер шага вращения и пульсации вращающего момента. Большее число полюсов дает меньшие шаги вращения и меньшие пульсации вращающего момента. На рисунке 2.3 показаны различные конфигурации двигателей с более чем одним фундаментальным набором обмоток и несколькими полюсами.</p>  <p>Рисунок 2.3 – Компоненты набора DJI 450 KIT</p> <p>В данных рекомендациях по применению двигателя RCTimer 850KV описывается реализация устройства управления коммутацией 3 фазного бесколлекторного электродвигателя постоянного тока (БКЭПТ) без использования датчиков посредством регулятора скорости двигателя DJI 30A на основе недорогого микроконтроллера ATmega48. Представленное решение применимо к большинству 3-фазных БКЭПТ. Весь исходный код регулятора написан на языке программирования Си, ассемблирование не требуется. Адаптация к различным двигателям выполняется за счет изменения параметров в исходном программном коде полетного контроллера ArdupilotMega 2.6.</p>

Таблица 2.2 – Технические характеристики двигателя RCTimer

Масса	52,6 г
Габариты	28 × 28 × 30 мм
Обороты KV(rpm/v)	850
Мах. Мощность	187W
Удерживающий момент	1,5 Н×м (при 12В, 1,5А)
Скорость холостого хода	59 об./с
Питание	Литий-полимерный аккумулятор 11.1 вольт
Рабочая температура	–25 °С – 70 °С
Рекомендуемый регулятор скорости двигателя	30А
Управляющий сигнал регулятора скорости двигателя	PWM
Рекомендуемый диаметр пропеллера	11X7/8x6/10x45/11x47

2.1.2 Регулятор оборотов DJI 30A. Принцип действия.

Обозначение контактов регулятора оборотов (контроллер) с подключенным к нему бесколлекторным электрическим двигателем показано на рисунке 2.4. В зависимости от комбинации подключения кабелей питания может измениться направление вращения БК двигателя.

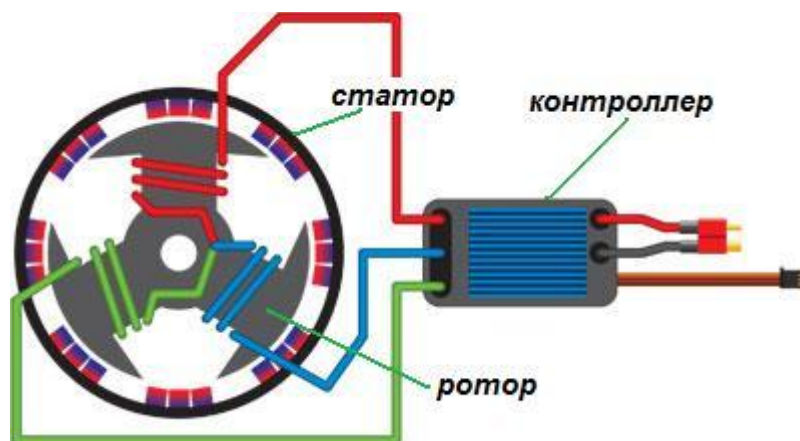


Рисунок 2.4 – Схема подключения мотора-регулятора

На рисунке 2.5 показаны осциллограммы трапецеидальной обратной э.д.с. и соответствующие напряжения управления 3-фазным БКЭПТ. На каждой ступени коммутации, обмотка одной фазы подключается к положительному

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>напряжению питания, другая - к отрицательному, а третья - остается неподключенной. Обратная э.д.с. неподключенной фазы в результате пересекает ноль при пересечении среднего значения положительного и отрицательного напряжений. Пересечения ноля отмечены на рисунке 2.5, как "ПН". Пересечение ноля возникает всегда в центре между двумя коммутациями. На постоянной скорости или медленно изменяющейся скорости период времени от одной коммутации до пересечения нуля и время от пересечения нуля до следующей коммутации равны. Это используется в качестве основы в данной реализации устройства управления без использования датчиков.</p>					Справ. №	Перв. примен.
					<p>Рисунок 2.5 – Осциллограммы напряжений и обратной э. д. с.</p>						
					БР – 15.03.06 ПЗ					Лист	
										19	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

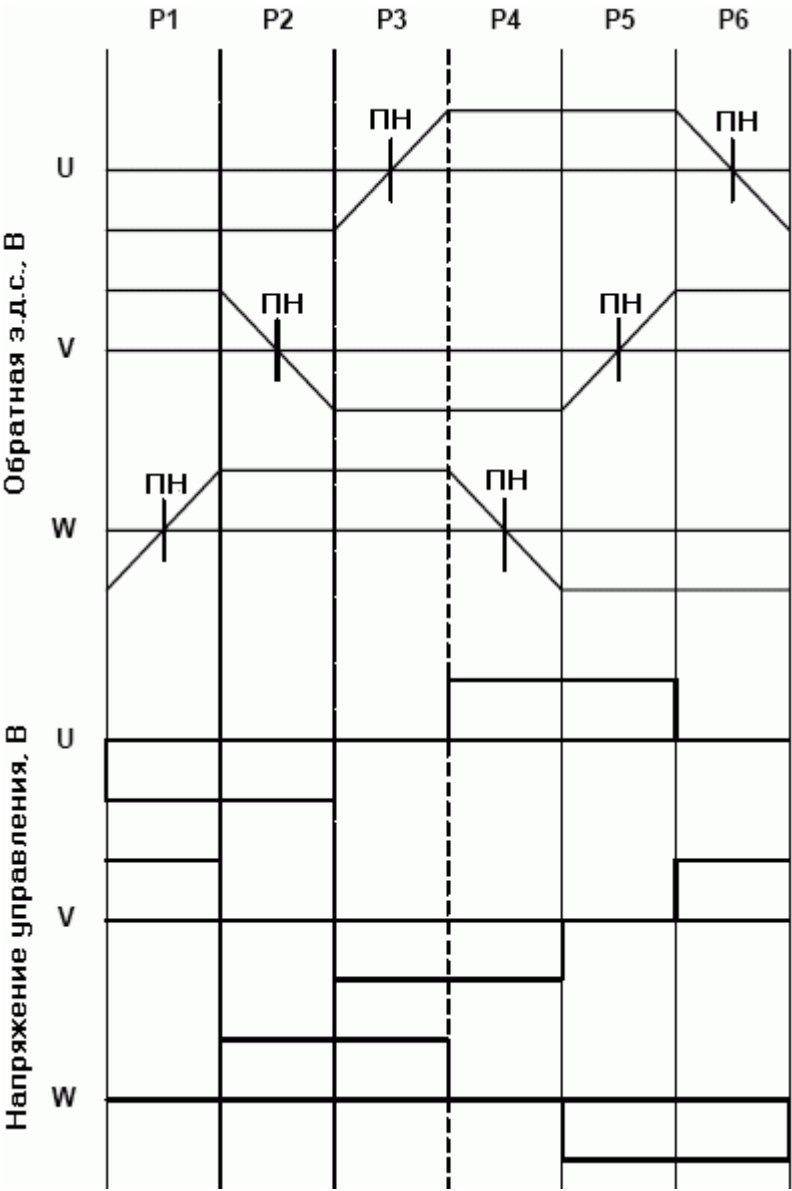


Рисунок 2.5 – Осциллограммы напряжений и обратной э. д. с.

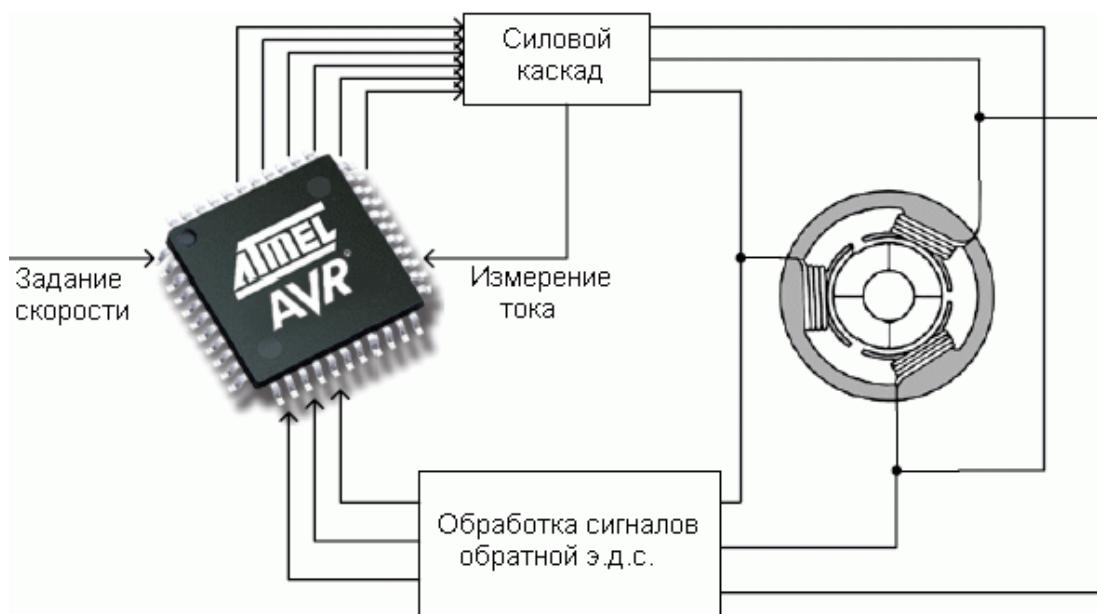


Рисунок 2.6 –Схема подключения мотора-регулятора

Ключи, подключенные к $V_{дв}$, называются верхними ключами. Ключи, подключенные к общему, по аналогии называются нижними ключами.

При работе БКЭПТ, как показано на рисунке 2.7, могут быть открыты только один верхний и один нижний ключ, создавая путь протекания электрического тока через две фазные обмотки двигателя и оставляя одну обмотку двигателя неподключенной.

Диоды параллельно каждому ключу обычно называются обратными диодами и предназначены для защиты ключей от высоковольтных выбросов напряжения, возникающие при коммутации больших индуктивных нагрузок, подобных двигателю. Некоторые транзисторы интегрируют такой диод в своем корпусе.

В данной реализации скорость задается с помощью аналогового напряжения. В качестве задатчика скорости может выступать любой сигнал, например, выход датчика температуры. В данной реализации для задания скорости используется управляющий сигнал от полетного контроллера беспилотного летательного аппарата.

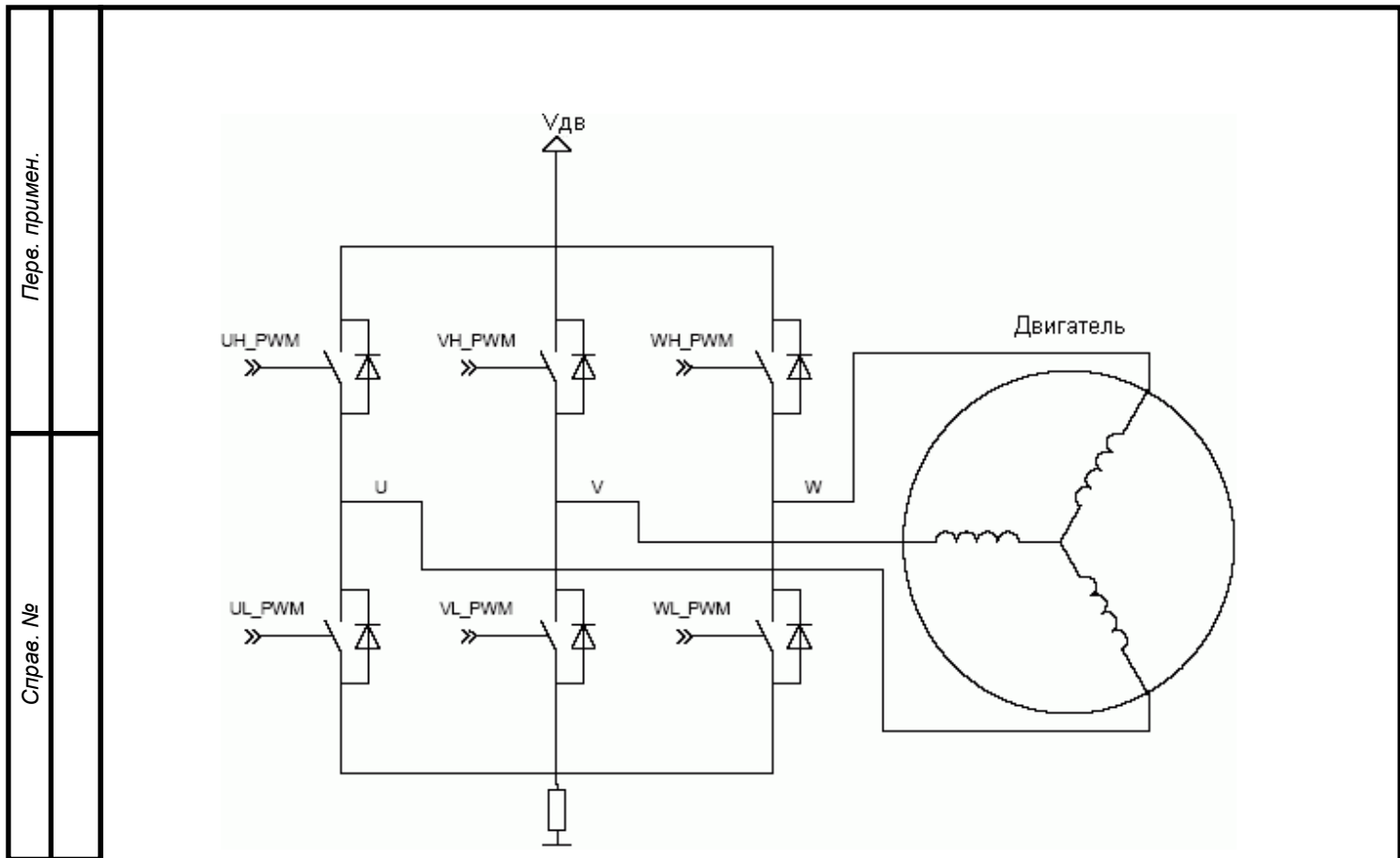


Рисунок 2.7 – Силовой каскад

2.1.3 Полетный контроллер ArdupilotMega 2.6

Полетный контроллер ArduPilotMega является полноценным решением БПЛА (Беспилотного Летающего аппарата UAV), который позволяет помимо радиоуправляемого дистанционного пилотирования - автоматическое управление по заранее созданному маршруту, т.е. полет по точкам, а так же обладает возможностью двухсторонней передачи телеметрических данных с борта на наземную станцию (телефон, планшет, ноутбук, DIY) и ведение журнала во встроенную память. Он основан на автопилоте APM 2.x, разрабатываемым сообществом DIY Drones и базирующийся на open-source проекте, позволяющий превратить любой аппарат в автономное средство и эффективно использовать его не только в развлекательных целях, но и для выполнения профессиональных проектов. Внешний вид устройства показан на рисунке 2.8.

Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.	

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22



Рисунок 2.8 – Полетный контроллерArdupilotMega 2.6

Особенности полетного контроллера ArdupilotMega 2.6:

- осевой гироскоп, акселерометр, магнитометр (до 2.5.2) и высокоточный барометр;
- система стабилизации;
- удержание позиции по GPS, полет по точкам и возврат на точку старта;
- возможность использования инфракрасного датчика для обхода препятствий;
- поддержка ультразвукового датчика (Sonarsensor) для автоматического взлета и посадки;
- автоматическое следование по маршрутным точкам;
- управление двигателями посредством ШИМ (PWM) с использованием дешевых регуляторов скорости (ESC);
- радиосвязь и телеметрия с борта летящего аппарата;
- поддержка датчика уровня заряда батареи;
- настраиваемая световая индикация при полетах;
- совместим с многими радиоуправляемыми приемниками PWM и PPM сигналов;
- передача в реальном времени телеметрических данных;
- поддержка OSD телеметрии (наложение на видеопередачу телеметрических данных) используя протокол MAVLINK;
- конфигурирования точек полета посредством GoogleMaps и системы GPS;
- бортовая флеш память 16Мбит для автоматической регистрации данных;

Перв. примен.	<ul style="list-style-type: none"> – цифровой компас работает на HMC5883L; – 6 степеней свободы в InvenSense акселерометре , гироскоп MPU-6000; – датчик барометрического давления обновлен MS5611-01BA03 MeasurementSpecialties; – контроллер Atmel ATmega2560-16AU и ATMEGA32U-2 чип для обработки и функции USB; – возможно загрузки обновлений встроенного программного обеспечения и конфигурации. 															
Справ. №	<p>Таблица 2.3 – Технические характеристики контроллера CM-510</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Масса</td> <td>50,5 г</td> </tr> <tr> <td>Микроконтроллер</td> <td>ATmega2561</td> </tr> <tr> <td>Напряжение питания</td> <td>4,5 – 5,5 В</td> </tr> <tr> <td>Рабочая температура</td> <td>–25 – 70 °С</td> </tr> <tr> <td>Внутренний вход/выход устройства</td> <td>датчик напряжения питания; 3 светодиода, 1 кнопка сброса («Mode»); группа датчиков инерциального позиционирования</td> </tr> <tr> <td>Внешний вход/выход устройства</td> <td>Порт для подключения к USBПЭВМ, 1 шт.; порт для периферийного устройства, 6 шт.; порт для беспроводной связи, 1 шт.;</td> </tr> </table> <p>Основным элементом полетного контроллера ArdupilotMega является микроконтроллер ATmega2561. На рисунках 2.9и в таблице 2.4 показано назначение и количество контактов микроконтроллера.</p>				Масса	50,5 г	Микроконтроллер	ATmega2561	Напряжение питания	4,5 – 5,5 В	Рабочая температура	–25 – 70 °С	Внутренний вход/выход устройства	датчик напряжения питания; 3 светодиода, 1 кнопка сброса («Mode»); группа датчиков инерциального позиционирования	Внешний вход/выход устройства	Порт для подключения к USBПЭВМ, 1 шт.; порт для периферийного устройства, 6 шт.; порт для беспроводной связи, 1 шт.;
	Масса	50,5 г														
Микроконтроллер	ATmega2561															
Напряжение питания	4,5 – 5,5 В															
Рабочая температура	–25 – 70 °С															
Внутренний вход/выход устройства	датчик напряжения питания; 3 светодиода, 1 кнопка сброса («Mode»); группа датчиков инерциального позиционирования															
Внешний вход/выход устройства	Порт для подключения к USBПЭВМ, 1 шт.; порт для периферийного устройства, 6 шт.; порт для беспроводной связи, 1 шт.;															
Подпись и дата																
Инв. № дубл.																
Взам. инв. №																
Подпись и дата																
Инв. № подл.																

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

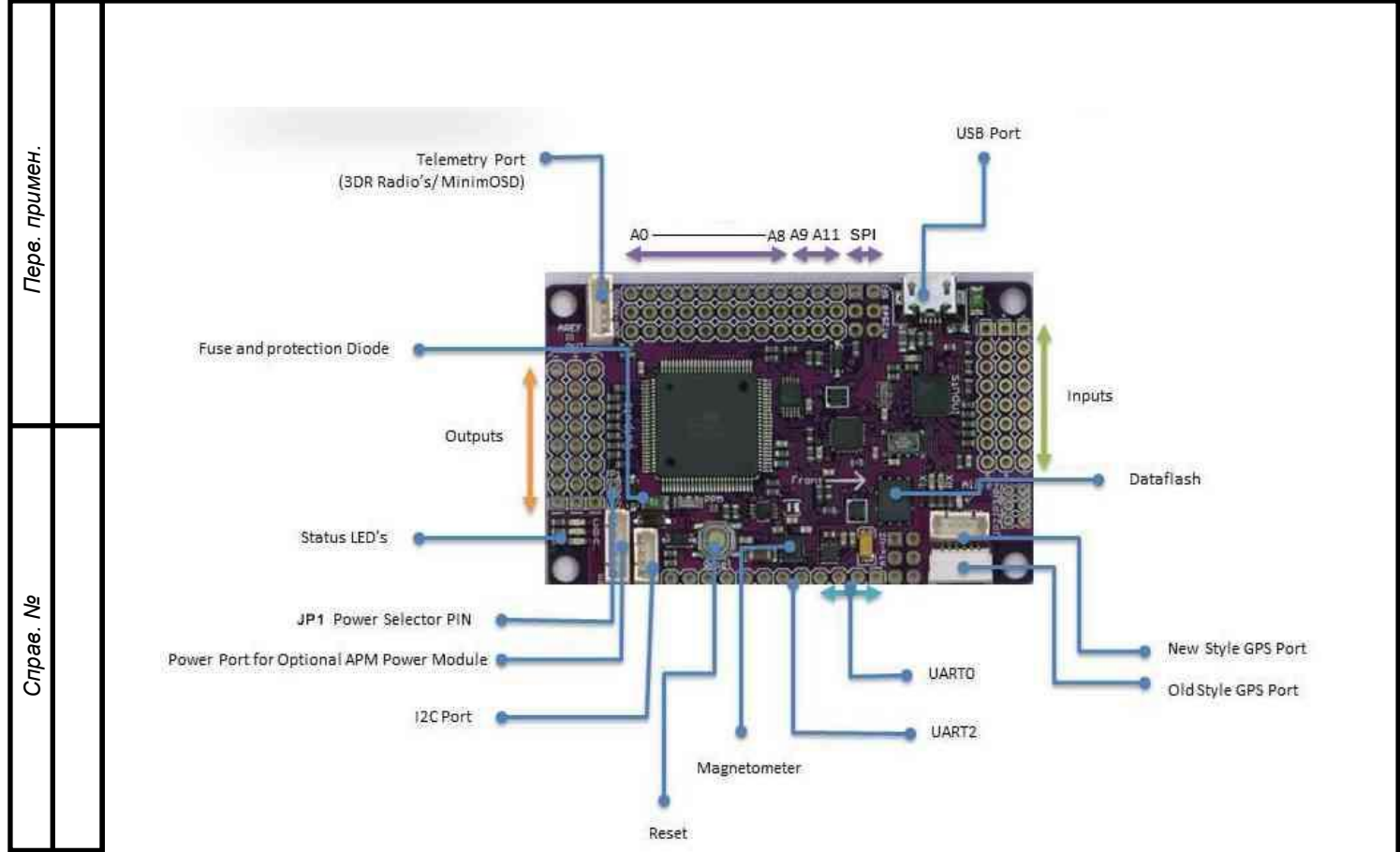


Рисунок 2.9 – Назначение контактов контроллера

Технические характеристики микроконтроллера ATmega2561 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики микроконтроллера ATmega2561

Центральный процессор	8-bit AVR
Объём флэш-памяти	256 КБ
Объём SRAM	8 КБ
Объём EEPROM	4 КБ
Число контактов	64
Максимальная рабочая частота	16 МГц
Макс. число контактов ввода-вывода	54
Число внешних прерываний	17
Число каналов SPI	3
Число каналов TWI (I2C)	1
Число каналов UART	2
Число каналов АЦП	8
Разрешение АЦП	10 бит
Скорость АЦП	15 Кбит/с

Перв. примен.	Окончание таблицы 2.4				
	Число аналоговых компараторов		1		
Справ. №	Рабочая температура		-40 – 85 °C		
	Напряжение питания		4,5 – 5,5 В		
<h3>2.1.4 Модули телеметрии 3D Robotics</h3> <p>Радиомодули телеметрии 3D Robotics являются идеальным способом для настройки телеметрии между АРМ и наземной станцией. Модуль обладает большим диапазоном радиодействия, использует открытую программу управления с открытым исходным кодом, которая позволяет делать то, что не может быть сделано с другими радиомодулями.</p> <p>Особенности модуля:</p> <ul style="list-style-type: none"> – компактный размер; – незначительный вес (до 4 грамм без антенны); – работа в диапазонах 915MHz или 433MHz; – чувствительность приемника -121 дБм; – передавать мощность до 20 дБм (100 мВт); – прозрачный последовательный канал; – скорость передачи данных до 250kbps; – протокол MAVLink и отчетов о состоянии; – поддержка частотного прыжка (FHSS); – адаптивное мультиплексирование с временным разделением (TDM); – поддержка LBT и AFA; – настраиваемый рабочий цикл; – встроенный код коррекции ошибок (можно исправить до 25% битовых ошибок данных); – модуль продемонстрировал дальность от нескольких километров с небольшой всенаправленной антенной; – AT команд для конфигурации радио, аналогичные используемому в проекте BluetoothHC-05; – RT команды для удаленного конфигурирования радио; – адаптивное управление потоком при использовании АРМ; – базируется на основе радиомодулей HM-TRP, с Si1000 8051 микроконтроллера и радиомодуля Si4432 , RF23. <p>В радиомодулях имеются два светодиода, один красный и один зеленый. Значение состояния горения светодиодов описывается в таблице 2.5.</p>					
Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм. № подл.	БР – 15.03.06 ПЗ				
	Лист 26				

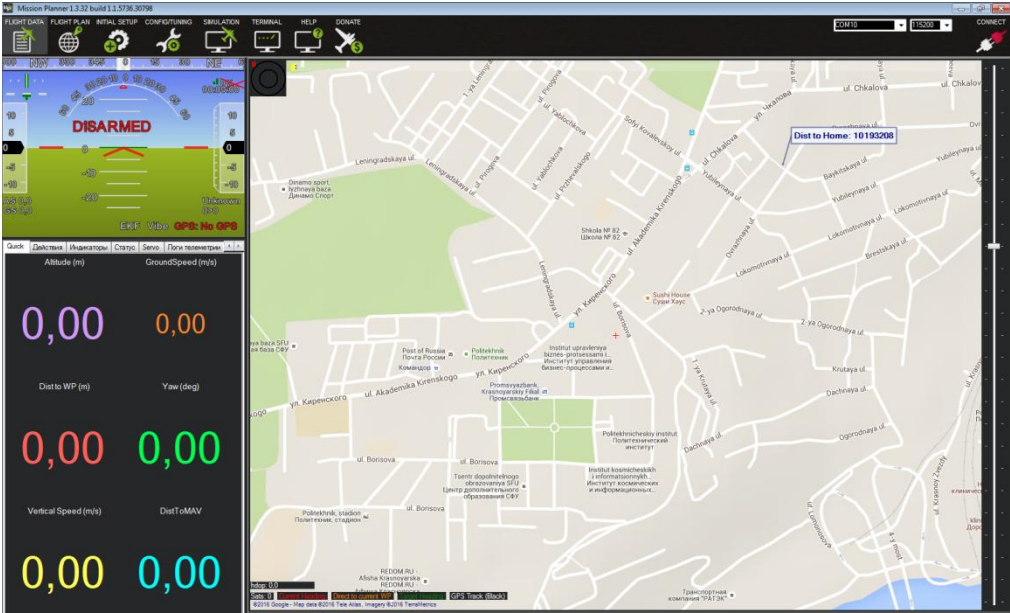
Перв. примен.	<p>"действие" может быть одновременно запущены. Команда "действие" будет запущена перед тем как начнется команда "навигация".</p>
Справа. №	

Рисунок 2.10 – Главное окно MissionPlanner

Команды построения маршрута задаются во вкладке «FlightPlan» и располагаются в нижней части окна MissionPlanner, как показано на рисунке 2.11.

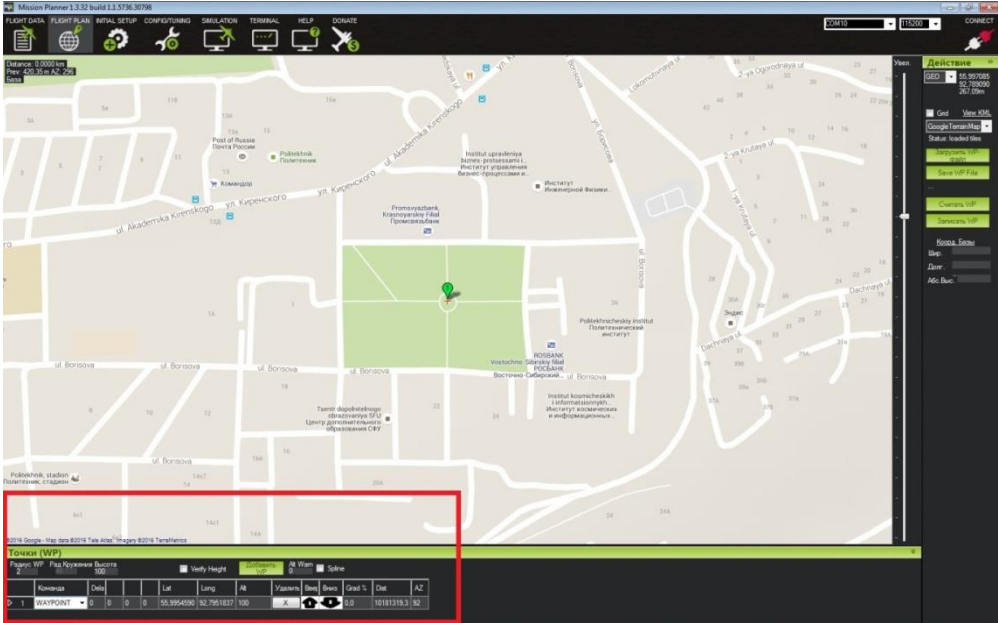
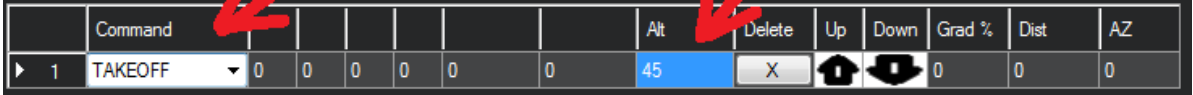
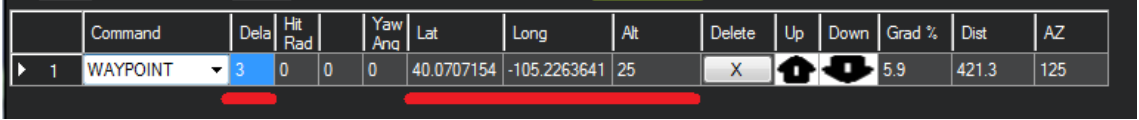
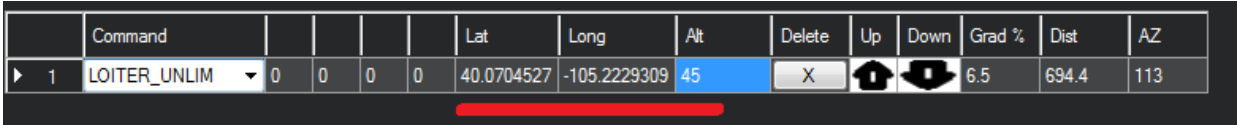
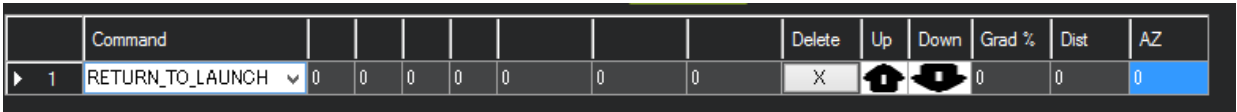
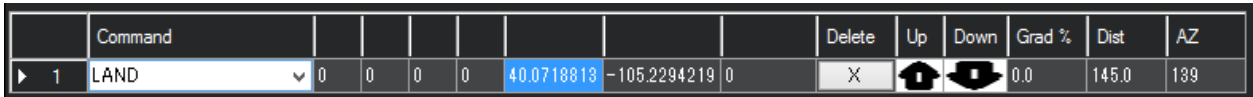
Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	

Рисунок 2.11 – Окно настройки полетного маршрута

Перв. примен.	<p>Список команд миссий ArduCopter:</p> <p>а) Takeoff. Аппарат будет подниматься вверх от своего текущего местоположения до высоты указанной в метрах. Это должно быть первой командой во всех миссиях. Если миссия начинается когда квадрокоптер уже летает, он будет подыматься вверх до указанной высоты. Если квадрокоптер уже выше указанной высоты , то переходя в выполнение миссии он будет игнорировать команду "взлёт" и перейдет к выполнению следующей команды.</p>																
Справа. №																	
<p>Рисунок 2.12 – Команда Takeoff</p>																	
Подпись и дата	<p>б) Waypoint. Квадрокоптер будет лететь по прямой линии в место указанное в качестве точки (по координатам долготы, ширины и высоты в метрах). Параметры:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Delay - количество времени (в секундах) что бы ждать в точке маршрута прежде, чем приступить к следующей команде. 2) HitRad - предназначена для удержания расстояния (в метрах) от нацеленной точки, которая будет претендовать как на "пройденную" точку. 3) YawAng - угол поворота направления в градусах (0 = север, 90 = восток). 4) Lat, Lon - широта и долгота цели. Если оставить как ноль - она будет остановиться на текущем местоположении. 5) Alt - целевая высота над "точкой" в метрах. Если оставить как ноль - будет поддерживать текущую высоту. 																
Инв. № дубл.																	
Взам. инв. №	<p>Рисунок 2.13 – КомандаWaypoint</p>																
Подпись и дата	<p>в) Loiter_Unlimited. Квадрокоптер будет лететь к указанной точке и ждать. Миссия не будет продолжена после этой команды. Параметры:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Lat, Lon - ширина и долгота цели. Если оставить пустыми - квадрокоптер будет висеть над текущем местоположением. 2) Alt - целевая высота над "домом" в метрах. Если оставить нулевое значение - квадрокоптер будет кружить на текущей высоте. 																
Инв. № подл.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 15%;">Изм.</td> <td style="width: 15%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">№ докум.</td> <td style="width: 15%;">Подпись</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
		Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											
<p>БР – 15.03.06 ПЗ</p>																	
					<p>Лист</p> <p>29</p>												

Перв. примен.										
	<p>Рисунок 2.14 – Команда Loiter_Unlimited</p>									
Справа. №	<p>г) Return_To_Launch. Эта миссия эквивалентна полетному режиму RTL. Как описано на этой странице квадрокоптер будет подниматься на указанную высоту заданным параметром RTL_ALT (по умолчанию 15 метров), прежде чем вернуться домой. Домашняя точка устанавливается там, где он был снят с охраны (Arming). Эта команда не имеет параметров и как правило должна быть последней командой в миссии.</p> 									
	<p>Рисунок 2.15 – Команда Return_To_Launch</p>									
Подпись и дата	<p>д) LAND. Квадрокоптер приземлится в текущем положении или в указанных координатах широты и долготы. Эта миссия эквивалентна полетному режиму LAND</p> 									
	<p>Рисунок 2.16 – Команда Land</p>									
Инв. № дубл.	<p>е) Do-Set-ROI. Головное направление квадрокоптера и "подвеса камеры" будет направленно на "область интереса", она же ROI. В приведенном выше примеры нос и камера будут направлены на красный маркер на период выполнения команд, когда квадрокоптер летел из путевой точки 1 к путевой точке 3. Если необходимо, чтобы носовое направление / камера «смотрели» на красный маркер при полете от 3 до 4 точки, то потребуется вторая команда DO_SET_ROI, которая должна идти после команды полета к точке 3. (Примечание: в прошивке конфигурации ArduCopter 3.2 можно будет задавать за один раз точку, без её повторений). Параметры:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Lat, Lon - ширина и долгота цели. 2) Alt - целевая высота над "домом" в метрах. 									
Взам. инв. №										
Подпись и дата										
Инв. № подл.										

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справа. №	Перв. примен.					
<p>Рисунок 2.17 – Команда Do-Set-ROI</p> <p>Набор данных команд может быть использован оператором, для ручного управления БПЛА, но рамках работы над мультиагентной робототехнической системы утилита MissionPlanner используется совместно кодом программы на языке программирования Python в целях автоматизации создания полетного задания для летательного аппарата. Программа такого типа именуются скриптом, ее основное предназначение состоит в автоматизации действий, которые необходимо было бы совершать оператору вручную. Дополнительно это позволяет расширить стандартный функционал, например, предоставить MissionPlanner доступ к текстовому файлу в дисковом пространстве ПЭВМ. Листинг разработанного скрипта представлен в приложении Б.</p> <h3>2.2 Описание 3D-сенсора</h3> <p>Kinect — это интерактивный игровой контроллер для игровой системы Microsoft Xbox, внешний вид устройства указан на рисунке 2.18. Kinect состоит из двух сенсоров глубины, цветной видеокамеры и микрофонной решетки. Датчик глубины состоит из инфракрасного проектора, объединенного с монохромной КМОП-матрицей, что позволяет Kinect получать трехмерное изображение при любом естественном освещении. Эти измерения производятся по всему полю зрения сенсора Kinect. В результате, получается облако точек, состоящее из 307200 измерений расстояния между сенсором и сценой. Одновременно со</p>											
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ		Лист 31				

Перв. примен.	<p>сбором массива данных, обычная цифровая матрица выполняет видеосъемку сцены.</p> <div></div> <p>Рисунок2.18 –Внешний вид Kinect</p> <p>Достоинства и недостатки лазерного сканирования:</p> <ul style="list-style-type: none">– прямой метод измерения трехмерных координат, в отличие от стереометрии;– возможность измерять сквозь оптически прозрачные покровы. В частности, воздушное лазерное сканирование позволяет получать координаты рельефа под покровом растительности;– высокая производительность, что особенно важно для мобильных систем;– сочетание лазерного сканера с параллельным цифровым фотографированием позволяет получить яркостную характеристику сцены только косвенным методом путем проецирования фотографии на соответствующие участки облака точек;– большие габариты и энергопотребление. <p>Распространенным и практичным подходом к дистанционному трехмерному измерению является использование оптической фокусирующей системы и цифровой матрицы. Если известны параметры оптической системы, то задача восстановления пространственного положения любого пришедшего на матрицу луча является тривиальной. Необходимо создать вспышку света на корпусе измеряющего аппарата и одним из многочисленных образов измерить задержку в приходе отраженного от объекта света на каждый пиксель цифровой матрицы.</p> <p>Далее речь пойдет об общих принципах работы камеры. Излучатель создает очень короткую равнонаправленную световую вспышку (по длительности эквивалентную расстоянию в несколько метров, что определяет максимально дальность камеры, например 7.5 метров при длительности вспышки $t_0 = 50$ нс). Рабочая длина волны составляет всего 1.5 мкм. Отраженный</p>														
Справ. №															
Подпись и дата															
Инв. № дубл.															
Взам. инв. №															
Подпись и дата															
Инв. № подл.	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div>										Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											
					Лист 32										

от сцены свет возвращается обратно и фокусируется оптической системой так, что бы падать на цифровую матрицу. Эта матрица имеет специальный тип и состоит из фотодиодов. При попадании света на фотодиод, он начинает вырабатывать ток, который через ключ передается на накопительные элементы (конденсаторы). В простейшем случае можно использовать два конденсатора. Первоначально заряжается первый конденсатор S1, через 50 нс после начала световой вспышки ключ переключается на зарядку второго конденсатора S2. Еще через 50 нс ключ переходит в нейтральное положение. Принципиальная схема работы сенсора представлена на рисунке 2.19.

Через небольшой интервал весь процесс повторяется снова. Так как частота следования вспышек достаточно большая и всю сцену можно считать неподвижной, то заряды конденсаторов S1 и S2 накапливаются от вспышки к вспышке, тем самым повышая уровень сигнал/шум и увеличивая надежность расчета. Для накопления используются несколько тысяч циклов. Временная диаграмма процесса изображена на рисунке 2.20. Kinect. В результате, соотношение между зарядами S1 и S2 позволяет определить положение фронта отраженного импульса относительно вспышки. Окончательно рассчитать расстояние D вдоль луча, пришедшего к данному пикселю, можно по формуле

$$D = \frac{ct_0 S_2}{2(S_1 + S_2)} \quad (2.1)$$

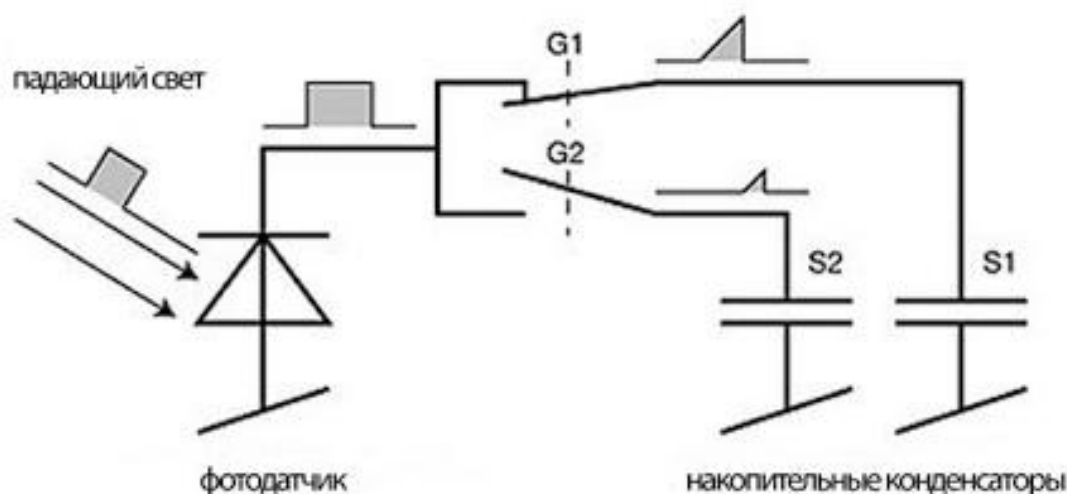


Рисунок 2.19 – Принципиальная схема работы



Согласно заявленным техническим характеристикам, контролер Kinetic поддерживает рабочий диапазон дальностей от 1 до 6 метров и имеет поле зрения примерно 50 угловых градусов в обоих направлениях. Разрешение дальномерной матрицы невелико и составляет всего, 320 x 240 пикселей. Остальные технические характеристики 3D-сенсора приведены в таблице 2.6, а на рисунке 2.21 можно наблюдать внутреннее устройство сканера Kinect.



Рисунок 2.21 – Внутреннее устройство сканера

Вследствие проведения многочисленных испытаний качества работы устройства были обнаружены недостатки схемы. Ими являются паразитная засветка, которая может превышать яркость вспышки и множественные отражения света, что дает фальшивые точки отражений.

Таблица 2.6 – Основные технические характеристики компонентов 3D-сканера

Тип модуля камеры	Характеристики
Цветная MT9M112	Разрешение 1280x1024, 15 кадров в секунду (30 кадров при 640x512)
Цветная MT9v112	Разрешение 640x480, 30 кадров в секунду
ИК сенсор глубины MT9M001	Инфракрасный чернобелый 1280x1024, 30 кадров в секунду

2.2.1 Описание системы технического зрения

Исходя из вышеописанных характеристик устройства Kinect, было решено использовать сканер в качестве камеры системы технического зрения, для дальнейшей установки на одного из агентов робототехнической мультиагентной системы, а именно беспилотный летательный аппарат DJI 450KIT. Массогабаритные характеристики сканера позволяют беспрепятственно

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>установить его прямо под нижней панелью рамы аппарата, используя самостоятельно изготовленное с помощью 3D-печати крепление.</p>
							
<p>Рисунок2.22 – Модель сборки рамы летательного аппарата и сканера</p> <p>При работе с программой MissionPlaner будут учтены технические характеристики сканера, в особенности дальность действия Kinect. Для снятия данных с 3D-сканера и трансляции на ПЭВМ и последующей обработки использован одноплатный компьютер RaspberryPi на базе микропроцессора ARM11 и операционной системы RaspbianLinux. Внешний вид устройства изображен на рисунке 2.23, а характеристики указаны в таблице 2.7.</p>							
							
<p>Рисунок2.23 –Компьютер RaspberryPi</p>							
БР – 15.03.06 ПЗ						Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	36		

Центральный процессор	BroadcomBCM2835 (CPU+GPU)
CPU	700 МГцARM11 (ядроARM1176JZF-S)
GPU	BroadcomVideoCore IV
Стандарты	OpenGL ES 1.1/2.0, OpenVG 1.1, Open EGL, OpenMAX
Память (SDRAM, общая)	512 Мбайт;
Максимальная рабочая частота	1 ГГц
Порты USB 2.0	2
Видеовыход	1 x HDMI 1.3a (CEC), 1 x RCA (576i/480i, PAL- BGHID/M/N,NTSC, NTSC-J)
Сеть	Ethernet-порт RJ45 10/100 Мбит/с
Интерфейсы	20 x GPIO (SPI, I2C, UART, TTL); MIPI CSI-2, MIPI DSI
Энергопотребление	700 мА (3,5 Вт)
Питание	5 В через порт micro-USB или GPIO
Размеры	85,6x56x21 мм
Масса	54 г

Перед подключением сканера необходимо установить необходимые драйвера устройства в операционной системе RaspbianLinux, посредством терминалаSSH. По окончании операции установки драйверов устройства пользователь должен увидеть результат работы 3D-сенсора, как показано на рисунке 2.24.


Перв. примен.	Стр. №				
		<p>1 – окно вывода карты глубины с 3D-сенсора; 2 – терминал ОС Raspbian; 3 – рабочий стол одноплатного компьютера RaspberryPi</p>			
Подпись и дата		Рисунок2.24 –Результат работы 3D-сенсора			
Подпись и дата		2.3. Описание наземного мобильного робота			
Инв. № дубл.		Мобильный робот представляет собой трехколесную круглую платформу, состоящую из двух акриловых пластин, которая имеет два ведущих колеса, с помощью которых осуществляется его перемещение и повороты, и одно вспомогательное, помогающее находить роботу в устойчивом состоянии. Внешний вид робота представлен на рисунке 2.26. Мобильный робот перемещается в двухмерном пространстве, получает данные с внешних датчиков (энкодеров), и постоянно обрабатывает поступающую информацию, чтобы управлять своим движением. Все эти процессы происходят непрерывно и тесно взаимосвязаны друг с другом. Общая схема компоновки робота представлена на рисунке 2.26.			
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
		БР – 15.03.06 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					38



Рисунок 2.25 – Общая схема мобильного робота

Таблица 2.8 – Основные технические характеристики МР

Основные технические характеристики наземного мобильного робота	
Габаритные размеры МР в транспортном виде:	
длина, мм	200
ширина, мм	200
высота, мм	110
максимальная скорость передвижения , м/с	0,8
Тип двигателей	ДПТ
Масса МР в снаряженном состоянии, кг	1.05

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лист
					БР – 15.03.06 ПЗ	39

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

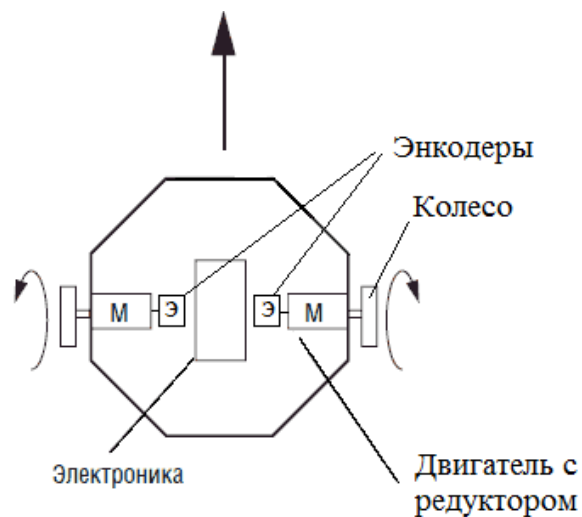


Рисунок 2.26 – Внешний вид мобильного робота

В состав мобильного робота входят следующие компоненты:

- контроллер ArduinoMega 2560, 1 шт.;
- мотор-редуктор с колесом, 2 шт.;
- модуль энкодера на плате, 2 шт.;
- Bluetooth модуль HC-05 на плате, 2 шт.;
- драйвер двигателей на основе L298 1 шт.;
- Li-Io аккумулятор типа размера 18650 (3.7V, 2500 mA/PCM), 2 шт.;
- заднее опорное колесо;
- кабели питания и связи;
- корпусные и крепежные элементы;

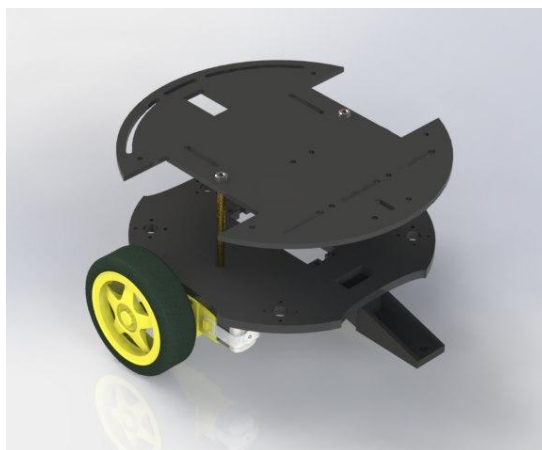
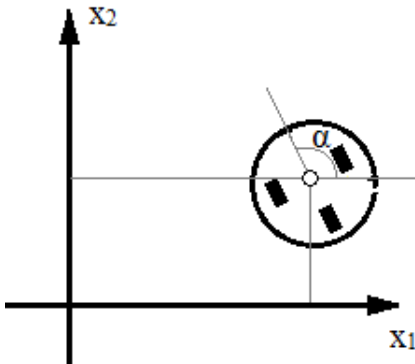


Рисунок 2.27 – 3D модель мобильного робота

Перв. примен.	<h3>3 Кинематическая модель мобильного робота</h3> <p>Описываемая модель основана на следующих допущениях:</p> <ul style="list-style-type: none">– колёса робота являются плоскими и абсолютно твёрдыми;– проскальзывание между передними колёсами и поверхностью отсутствует;– заднее колесо не оказывает влияния на движение робота и служит лишь опорой. <p>Положение робота в таком случае может быть описано тремя переменными: координатами x_1, x_2 и азимутом α. Координаты характеризуют положение робота (а конкретно – точки, находящейся посередине между передними колёсами) в фиксированной двухмерной системе координат ox_1x_2, а азимут – угол между направлением робота и положительным направлением оси ox_1, отсчитанный против часовой стрелки (см. рис. 3.1).</p> <p>Робот также характеризуется радиусом передних колёс R и расстоянием между ними L. Для описания движения робота удобно пользоваться следующими двумя переменными: линейная скорость v и угловая скорость ω. Линейная скорость есть модуль производной по времени радиуса-вектора срединной точки, взятый со знаком плюс, если робот движется вперёд, или минус, если назад. Угловая скорость – это производная азимута по времени.</p> <p>Тогда положение робота в момент времени t может быть описано уравнениями</p> $x_1(t) = \int_0^t v(t) \cos \alpha(t) dt + x_{10} \tag{3.1}$ $x_2(t) = \int_0^t v(t) \sin \alpha(t) dt + x_{20} \tag{3.2}$ $\alpha(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \alpha_0 \tag{3.3}$ <div></div> <p>Рисунок 3.1 – Положение робота на плоскости ox_1x_2</p>					Справ. №	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.			
<table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>							Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ		Лист 41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата										

4 Управление мультиагентной робототехнической системой

Алгоритм управления мультиагентной робототехнической системой, состоящей из наземного мобильного робота, летательного аппарата и стационарного компьютера, представлен в виде блок-схемы на рис. 4.1.

```
graph TD; Start([Начало]) --> Step1[/1) Задание цели  
x1*глоб, x2*глоб/]; Step1 --> Step2[2) Получение глобального положения  
робота x1глоб, x2глоб, αглоб  
(GPS и магнитометр)]; Step2 --> Decision{Расстояние между роботом и  
целью меньше R?}; Decision -- да --> End([Конец]); Decision -- нет --> Step3[3) Перемещение квадрокоптера к  
координатам x1глоб, x2глоб]; Step3 --> Step4[4) Поворот квадрокоптера в сторону  
цели (принятие азимута α*глоб)]; Step4 --> Step5[5) Принятие роботом азимута α*глоб]; Step5 --> Step6[6) Взятие фотоснимка]; Step6 --> Step7[7) Поиск на фотоснимке кратчайшего  
пути от робота к верхнему краю]; Step7 --> Step8[8) Проезд роботом найденного пути]; Step8 --> Decision;
```

Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма мультиагентной системы

После выбора глобальных координат цели, наземный робот выясняет своё положение и ориентацию с помощью GPS датчика и магнитометра.

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист
43

Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма мультиагентной системы

После выбора глобальных координат цели, наземный робот выясняет своё положение и ориентацию с помощью GPS датчика и магнитометра.

Перв. примен.	<p>Если расстояние между целью и роботом меньше некоторого заданного значения R, то мультиагентная система завершает свою работу. Расстояние вычисляется по формуле</p> $D^{глоб} = \sqrt{(x_{1роб}^{глоб} - x_{1цель}^{глоб})^2 + (x_{2роб}^{глоб} - x_{2цель}^{глоб})^2} \quad (4.1)$ <p>Если $D^{глоб} < R$, то координаты наземного робота передаются летательному аппарату. Как только он достигнет их, он и наземный робот повернутся в сторону цели, приняв азимут $\alpha^{*глоб}$:</p> $\alpha^{*глоб} = \arctan\left(\frac{x_{2цель}^{глоб} - x_{2роб}^{глоб}}{x_{1цель}^{глоб} - x_{1роб}^{глоб}}\right) \quad (4.2)$ <p>После этого будет произведен снимок местности. В п. 4.1 описана обработка снимка стационарным компьютером. После этого компьютер выполнит алгоритм поиска кратчайшего пути до верхнего края снимка и отправит координаты точек наземному роботу. Алгоритм поиска кратчайшего пути описан в п. 4.2.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	Изм.				
Лист		44			

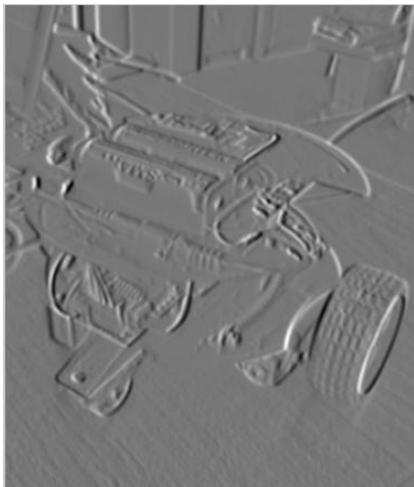
Перв. примен.		$L = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$				
Справ. №		<p>– вычисление первых производных (магнитуд и направлений) функции интенсивности пикселей по горизонтальному и вертикальному направлениям посредством применения оператора Собеля с ядрами G_x и G_y:</p> $G_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4.4)$ $G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4.5)$				
Подпись и дата		<p>– направления градиентов округляются до одного из возможных значений: 0, 45, 90, 135 градусов;</p> <p>– отбор пикселей, которые потенциально принадлежат ребру с использованием процедуры non-maximumsuppression. Пиксели, которым соответствуют вектора производных по направлениям, являющиеся локальными максимумами, считаются потенциальными кандидатами на принадлежность ребру;</p>				
Инв. № дубл.		<p>– двойное отсечение (гистерезис); выделяются "сильные" и "слабые" ребра. Пиксели, интенсивность которых превышает максимальный порог, считаются пикселями, принадлежащими "сильным" ребрам. Принимается, что пиксели с интенсивностью, входящей в интервал от минимального до максимального порогового значения, принадлежат "слабым" ребрам. Пиксели, интенсивность которых меньше минимального порога, отбрасываются из дальнейшего рассмотрения. Результирующие ребра содержат пиксели всех "сильных" ребер и те пиксели "слабых" ребер, чья окрестность содержит хотя бы один пиксель "сильных" ребер.</p>				
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.		<div> <div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист</div> <div>45</div> </div>				
		<div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div> </div>				

Перв. примен.	
Справ. №	

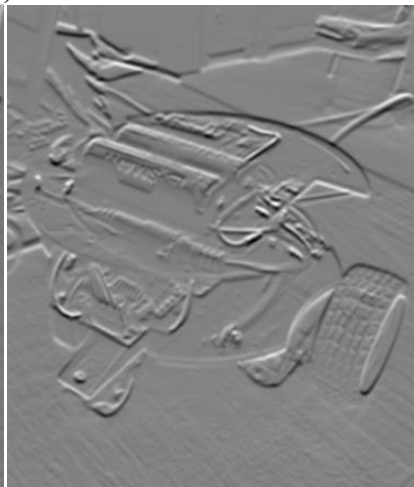
Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата		Инв. № подл.	
----------------	--	--------------	--	--------------	--	----------------	--	--------------	--



а)



б)



в)



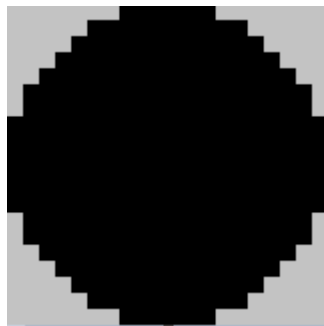
г)



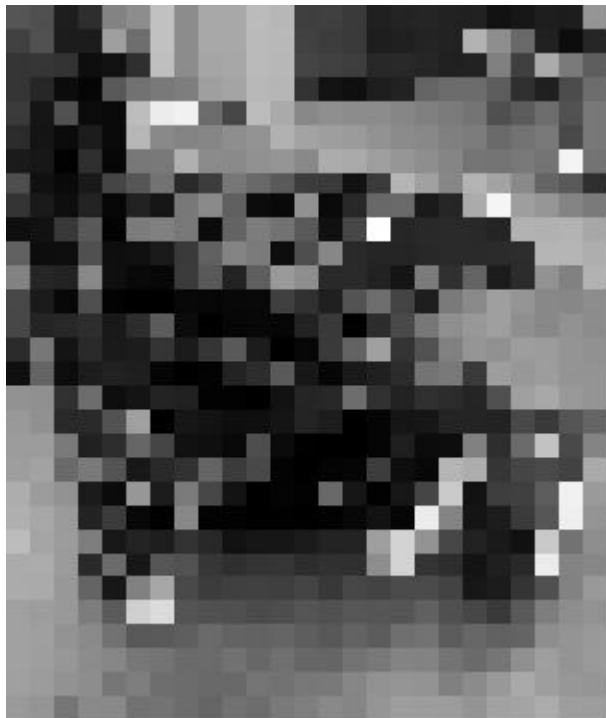
д)

а) исходное изображение; б) горизонтальный градиент; в) вертикальный градиент; г) полный градиент; д) найденные границы объектов
Рисунок 4.2 – Применение оператора Канни

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.	2. Получение силуэтов объектов				
	<p>К изображению, полученному с помощью оператора Канни, применяется операция морфологического замыкания с кругом радиуса 20 пикселей в качестве фильтра [7]. После этого внутренняя область каждого силуэта заполняется. Затем удаляются все малые силуэты (с площадью меньше 400 пикселей).</p>				
Справ. №					
	Рисунок 4.3 – Фильтр морфологического замыкания				
	3. Расчёт параметров силуэтов				
	<p>Для каждого силуэта вычисляется его площадь S (количество связанных пикселей), а также периметр по формуле</p> $P = \sum_i \Delta_{i,i+1} \tag{4.6}$ <p>где $i = 1, \dots, N$ – номер пикселя контура силуэта, $\Delta_{i,i+1} = \sqrt{2}$, если пиксели с номерами i и $i+1$ соединены диагонально, иначе $\Delta_{i,i+1} = 1$.</p> <p>Далее вычисляется следующий параметр силуэта:</p> $c = \frac{4\pi S}{P^2} \tag{4.7}$ <p>Параметр c может принимать значения от 0 до 1, причём для идеального круга он принимает значение 1.</p> <p>С помощью параметра c выясняется, какой из силуэтов принадлежит роботу. Для этого выбирается силуэт с наибольшим значением этого параметра.</p> <p>Для этого силуэта затем находится диаметр окружности, имеющей равную ему площадь, по формуле</p>				
Подпись и дата	Инва. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инва. № подл.	<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 47</div>
Инва. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перв. примен.	$D_{\text{пикс}} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (4.8)$				
	<p>Используя этот диаметр в пикселях и известный заранее диаметр робота D_m в метрах, получаем коэффициент масштабирования изображения, измеряемый в пикселях на метр:</p>				
Справ. №	$M = \frac{D_{\text{пикс}}}{D_m} \quad (4.9)$				
	<p>4. Вычисление положения робота</p> <p>Для силуэта робота вычисляется центр тяжести по формулам</p> $x_c = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N m_{x,y} x}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N m_{x,y}}, \quad y_c = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N m_{x,y} y}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N m_{x,y}} \quad (4.10)$ <p>где $m_{x,y}$ – значение пикселя (0 или 1).</p>				
Подпись и дата	<p>5. Удаление робота из исходного изображения</p> <p>В бинарном изображении удаляются все силуэты, кроме силуэта робота. Силуэт робота затем морфологически наращивается с помощью того же фильтра, который был использован в пункте 3.</p> <p>Увеличенный силуэт используется, чтобы «удалить» робота из исходного изображения: интенсивность каждого пикселя изображения, соответствующего маске робота, получает новое значение в соответствии с методикой <i>заполнения области интереса</i>, описанной в [8, с. 184].</p>				
	<p>6. Сжатие изображения</p> <p>Изображение равномерно сжимается в $0.25D_{\text{пикс}}$ раз. Сжатое изображение используется, как карта высот в алгоритме поиска кратчайшего пути.</p>				
Инв. № подл.					Лист
Взам. инв. №					БР – 15.03.06 ПЗ
Подпись и дата					
Инв. № дубл.					48
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перв. примен.		<div></div> <div>Рисунок 4.4 – Сжатое изображение</div>				
Справ. №						
<div><div>4.2 Алгоритм поиска кратчайшего пути</div><div><p>Кратчайший путь от робота к целевой точке ищется в соответствии с алгоритмом, являющимся модификацией волнового алгоритма, описанного в [10]. Псевдокод алгоритма:</p><div><div>Задать входные данные:</div><div><p>Y – матрица высот;</p><p>x_{Старт} – начальное положение робота (вектор из 2х чисел);</p><p>d_{Старт} – начальное направление робота (вверх, вправо, вниз или влево) .</p></div></div><div><div>Задать параметры:</div><div><p>Δy_{Max} – максимальный преодолимый перепад высот между соседними вершинами;</p><p>s_{Пост} – штраф за движение между соседними вершинами;</p><p>k_{Δy} – коэффициент штрафа за разницу высот между соседними вершинами;</p><p>s_{НН} – штраф за изменение направления наклона;</p><p>s_{Пов} – штраф за поворот.</p></div></div><div><div>Инициализировать переменные:</div><div><p>M, N – размеры матрицы высот Y;</p><p>C – матрица стоимости пути (размер M×N);</p><p>Для всех x: C(x) := 0, если x = x_{Старт}; иначе C(x) := ∞;</p></div></div></div></div>						
Подпись и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подпись и дата
Инв. № подл.						
		<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div>Изм.</div><div>Лист</div><div>№ докум.</div><div>Подпись</div><div>Дата</div></div><div>БР – 15.03.06 ПЗ</div><div><div>Лист</div><div>49</div></div></div>				

Перв. примен.		<p>D - направление входа в вершину (размер M×N); Для всех x: D(x) := dСтарт, если x = xСтарт; иначе D(x) := Null (ничего); xПут - координаты точек кратчайшего пути; пустой массив.</p> <p>Цикл без условия</p> <p>Если нет ни одной нерассмотренной вершины с конечной стоимостью (C), то кратчайший путь до верхнего края найти не удалось, конец программы.</p> <p>Выбрать вершину xТекущ, которая имеет наименьшую стоимость C(xТекущ), не равную бесконечности, из тех, что ещё не были рассмотрены.</p> <p>Если вершина xТекущ принадлежит верхнему краю матрицы Y, то xКонец := xТекущ, выйти из цикла.</p> <p>Если xТекущ ≠ xСтарт</p> <p>xПред := xТекущ - [1 0], если D(xТекущ) = вправо; xТекущ - [0 1], если D(xТекущ) = вниз; xТекущ + [1 0], если D(xТекущ) = влево; xТекущ + [0 1], если D(xТекущ) = вверх; ΔyПред := Y(xТекущ) - Y(xПред); конец если.</p> <p>Цикл для каждого соседа xСосед вершины xТекущ</p> <p>d := направление, по которому в xСосед можно сразу попасть из xТекущ (вверх, вправо, вниз или влево) Δy := Y(xСосед) - Y(xТекущ) ; Пов := 1, если d ≠ D(xТекущ), иначе Пов := 0.</p> <p>Если xТекущ = xСтарт НН := 0; иначе если sign(Δy) ≠ sign(ΔyПред) НН := 1; иначе НН := 0; конец если.</p> <p>Если Δy < ΔyМах c := C(xТекущ) + sПост + kΔy * Δy + sПов * Пов + sНН * НН.</p> <p>Если c < C(xСосед), то присвоить C(xСосед) = c, D(xСосед) := d; конец если; конец цикла.</p> <p>Пометить вершину xТекущ, как рассмотренную; конец цикла.</p> <p>xТекущ := xКонец.</p>				
Справ. №						
Подпись и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	
					Лист	50

Перв. примен.	<p>Цикл пока $x_{\text{Текущ}} \neq x_{\text{Старт}}$ ДОБАВИТЬ $x_{\text{Текущ}}$ В $x_{\text{Пут}}$; $x_{\text{Текущ}} := x_{\text{Текущ}} - [1 \ 0]$, если $D(x_{\text{Текущ}}) = \text{вправо}$; $x_{\text{Текущ}} - [0 \ 1]$, если $D(x_{\text{Текущ}}) = \text{вниз}$; $x_{\text{Текущ}} + [1 \ 0]$, если $D(x_{\text{Текущ}}) = \text{влево}$; $x_{\text{Текущ}} + [0 \ 1]$, если $D(x_{\text{Текущ}}) = \text{вверх}$; конец цикла.</p> <p>Вывести $x_{\text{Пут}}$.</p>																			
Справ. №	<p>4.3 Обмен данными</p> <p>Как было отмечено в главе 2, наземный робот и квадрокоптер обмениваются информацией со стационарным компьютером посредством технологии беспроводной связи Bluetooth, причём на программном уровне передача данных осуществляется через интерфейс последовательного соединения (COM).</p> <p>Параметры соединения представлены в таблице 4.1.</p>																			
Подпись и дата	<p>Таблица 4.1 – Параметры соединения</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Скорость</td> <td>9600</td> </tr> <tr> <td>Биты данных</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Число стоп-битов</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Проверка чётности</td> <td>нет</td> </tr> </table>					Скорость	9600	Биты данных	8	Число стоп-битов	1	Проверка чётности	нет							
	Скорость	9600																		
Биты данных	8																			
Число стоп-битов	1																			
Проверка чётности	нет																			
Инв. № дубл.	<p>Для отправки данных формируются пакеты байтов данных, имеющих следующую общую форму:</p> <p>255 255 [Число байтов данных] [Байты данных] [Контрольная сумма]</p> <p>Каждый элемент пакета рассмотрен в таблице 4.2.</p>																			
Взам. инв. №	<p>Таблица 4.2 – Элементы пакета</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 30%;">Часть пакета</th> <th style="width: 15%;">Размер в байтах</th> <th style="width: 55%;">Описание</th> </tr> <tr> <td>255 255</td> <td>2</td> <td>Заголовок пакета</td> </tr> <tr> <td>Число байтов данных</td> <td>1</td> <td>Число от 0 до 255</td> </tr> <tr> <td>Байты данных</td> <td>0-255</td> <td>Байты с любыми значениями</td> </tr> <tr> <td>Контрольная сумма</td> <td>2</td> <td>Циклический избыточный код (CRC16)</td> </tr> </table>					Часть пакета	Размер в байтах	Описание	255 255	2	Заголовок пакета	Число байтов данных	1	Число от 0 до 255	Байты данных	0-255	Байты с любыми значениями	Контрольная сумма	2	Циклический избыточный код (CRC16)
	Часть пакета	Размер в байтах	Описание																	
255 255	2	Заголовок пакета																		
Число байтов данных	1	Число от 0 до 255																		
Байты данных	0-255	Байты с любыми значениями																		
Контрольная сумма	2	Циклический избыточный код (CRC16)																		
Подпись и дата																				
Инв. № подл.																				

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Перв. примен.	<p>Для управления наземным роботом стационарный компьютер передаёт ему различные инструкции. Инструкции представляют собой пакеты данных, имеющих структуру</p> <p align="center">255 255 [Число байтов данных] [Код инструкции] [Аргументы] [Контрольная сумма].</p> <p>Код инструкции – это байт, несущий информацию о характере действия, которое необходимо совершить роботу. Аргументы – это информация, требуемая для совершения указанного действия.</p> <p>Описание инструкций приведено в таблице 4.3.</p> <p align="center">Таблица 4.3 – Инструкции для наземного робота</p> <table border="1"> <tr> <th>Действие</th> <th>Код</th> <th>Аргументы</th> <th>Описание</th> </tr> <tr> <td>Вкл. двигатели</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>Число байтов данных: 1 байт</td> </tr> <tr> <td>Выкл. двигатели</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>Число байтов данных: 1 байт</td> </tr> <tr> <td>Выбор новой траектории</td> <td>2</td> <td>Координаты 1-й точки, координаты 2-й точки, ..., координаты n-й точки</td> <td>Координаты точки – это два числа (x_1 и x_2), описанные в формате числа с плавающей точкой и имеющие длину 4 байта каждое. Число байтов данных: $1+8n$ байт</td> </tr> <tr> <td>Задать параметры регулятора левого двигателя</td> <td>3</td> <td>Значения K_p, K_i, K_d</td> <td>Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Задать параметры регулятора правого двигателя</td> <td>4</td> <td>Значение K_p, K_i, K_d</td> <td>Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13 байт</td> </tr> <tr> <td>Начать вещание</td> <td>5</td> <td>-</td> <td>Число байтов данных: 1 байт</td> </tr> <tr> <td>Прекратить вещание</td> <td>6</td> <td>-</td> <td>Число байтов данных: 1 байт</td> </tr> <tr> <td>Сброс нуля системы координат</td> <td>7</td> <td>-</td> <td>Число байтов данных: 1 байт</td> </tr> </table> <p>По пришествии команды «начать вещание», наземный робот начинает отправлять пакеты.</p>					Действие	Код	Аргументы	Описание	Вкл. двигатели	0	-	Число байтов данных: 1 байт	Выкл. двигатели	1	-	Число байтов данных: 1 байт	Выбор новой траектории	2	Координаты 1-й точки, координаты 2-й точки, ..., координаты n-й точки	Координаты точки – это два числа (x_1 и x_2), описанные в формате числа с плавающей точкой и имеющие длину 4 байта каждое. Число байтов данных: $1+8n$ байт	Задать параметры регулятора левого двигателя	3	Значения K_p , K_i , K_d	Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13	Задать параметры регулятора правого двигателя	4	Значение K_p , K_i , K_d	Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13 байт	Начать вещание	5	-	Число байтов данных: 1 байт	Прекратить вещание	6	-	Число байтов данных: 1 байт	Сброс нуля системы координат	7	-	Число байтов данных: 1 байт
	Действие	Код	Аргументы	Описание																																					
Вкл. двигатели	0	-	Число байтов данных: 1 байт																																						
Выкл. двигатели	1	-	Число байтов данных: 1 байт																																						
Выбор новой траектории	2	Координаты 1-й точки, координаты 2-й точки, ..., координаты n-й точки	Координаты точки – это два числа (x_1 и x_2), описанные в формате числа с плавающей точкой и имеющие длину 4 байта каждое. Число байтов данных: $1+8n$ байт																																						
Задать параметры регулятора левого двигателя	3	Значения K_p , K_i , K_d	Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13																																						
Задать параметры регулятора правого двигателя	4	Значение K_p , K_i , K_d	Каждый параметр – это число с плавающей точкой длиной в 4 байта. Число байтов данных: 13 байт																																						
Начать вещание	5	-	Число байтов данных: 1 байт																																						
Прекратить вещание	6	-	Число байтов данных: 1 байт																																						
Сброс нуля системы координат	7	-	Число байтов данных: 1 байт																																						
Справ. №																																									

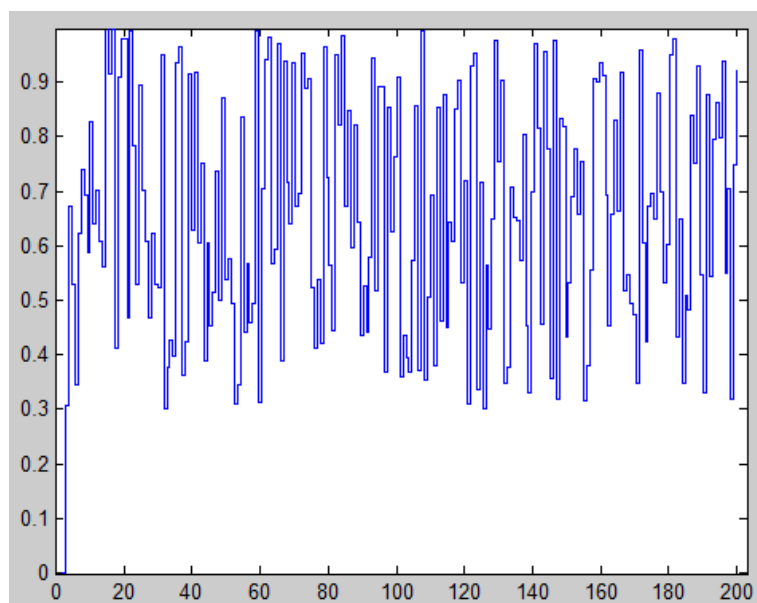
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.					

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						52

Перв. примен.	<p>Когда наземный робот производит вещание, то отправляет стационарному компьютеру пакеты следующей формы</p> <p style="text-align: center;">255 255 7 $x_1x_2\alpha$ [Контрольная сумма].</p> <p>Структура пакета описана в таблице 4.4.</p> <p>Таблица 4.4 – Элементы пакета, отправляемого наземным роботом</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Часть пакета</th> <th>Размер в байтах</th> <th>Описание</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>255 255</td> <td>2</td> <td>Заголовок пакета</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1</td> <td>Число байтов данных</td> </tr> <tr> <td>x_1</td> <td>4</td> <td>Координата робота по оси ox_1, число с плавающей точкой</td> </tr> <tr> <td>x_2</td> <td>4</td> <td>Координата робота по оси ox_2, число с плавающей точкой</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>4</td> <td>Азимут робота, число с плавающей точкой</td> </tr> <tr> <td>Контрольная сумма</td> <td>2</td> <td>Циклический избыточный код (CRC16)</td> </tr> </tbody> </table> <p>4.4 Система управления мобильным роботом</p> <p>Система управления мобильным роботом основана на кинематической модели, описанной в 3.1. В соответствии с ней, положение мобильного робота описывается координатами x_1, x_2 и азимутом α. Единицей измерения координат является метр, а единицей измерения азимута – радиан.</p> <p>За начало системы координат принимается точка, в которой робот находился в момент своего включения или получения команды «Сброс нуля системы координат», за нулевое значение азимута – направление в тот же момент времени.</p> <p>Система управления мобильным роботом представляет собой программу, разработанную на языке C++ (в среде Arduino). Она состоит из нескольких блоков, ответственных за различные аспекты управления и оценивания переменных состояния робота. Функциональная схема системы представлена в приложении В.</p> <p>Блоки системы разделяются на 2 типа: блоки управления и блоки оценки. К блокам управления относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – блок стратегии управления; – преобразование желаемых скоростей линейного и вращательного движения в желаемые скорости колёс; – регулятор скорости двигателя. 					Часть пакета	Размер в байтах	Описание	255 255	2	Заголовок пакета	7	1	Число байтов данных	x_1	4	Координата робота по оси ox_1 , число с плавающей точкой	x_2	4	Координата робота по оси ox_2 , число с плавающей точкой	α	4	Азимут робота, число с плавающей точкой	Контрольная сумма	2	Циклический избыточный код (CRC16)
	Часть пакета	Размер в байтах	Описание																							
255 255	2	Заголовок пакета																								
7	1	Число байтов данных																								
x_1	4	Координата робота по оси ox_1 , число с плавающей точкой																								
x_2	4	Координата робота по оси ox_2 , число с плавающей точкой																								
α	4	Азимут робота, число с плавающей точкой																								
Контрольная сумма	2	Циклический избыточный код (CRC16)																								
Справ. №																										

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Система управления мобильным роботом основана на кинематической модели, описанной в 3.1. В соответствии с ней, положение мобильного робота описывается координатами x_1, x_2 и азимутом α. Единицей измерения координат является метр, а единицей измерения азимута – радиан.</p> <p>За начало системы координат принимается точка, в которой робот находился в момент своего включения или получения команды «Сброс нуля системы координат», за нулевое значение азимута – направление в тот же момент времени.</p> <p>Система управления мобильным роботом представляет собой программу, разработанную на языке C++ (в среде Arduino). Она состоит из нескольких блоков, ответственных за различные аспекты управления и оценивания переменных состояния робота. Функциональная схема системы представлена в приложении В.</p> <p>Блоки системы разделяются на 2 типа: блоки управления и блоки оценки. К блокам управления относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – блок стратегии управления; – преобразование желаемых скоростей линейного и вращательного движения в желаемые скорости колёс; – регулятор скорости двигателя. 	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Перв. примен.		<p>К блокам оценки относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – оценка положения двигателя; – оценка скорости двигателя; – оценка положения робота; – оценка скорости робота. <p>Каждый блок имеет входной и выходной сигнал, а также связанный с ним интервал дискретизации T_0. Каждые T_0 секунд блок обновляет значение своего выходного сигнала.</p> <p>Функциональная схема системы управления приведена в приложении А.</p>				
Справ. №		<p>4.4.1 Оценка положения двигателя</p> <p>Оценки положения двигателей производятся посредством подсчёта импульсов энкодеров. Они обновляются каждые 0.005с (минимальное аппаратно возможное значение T_0) в соответствии с выражениями</p> $\alpha_{\text{л}}(kT_0) = \alpha_{\text{л}}([k-1]T_0) + \frac{2\pi}{n_{\text{э}}} \Delta N_{\text{л}} \quad (4.11)$ $\alpha_{\text{п}}(kT_0) = \alpha_{\text{п}}([k-1]T_0) + \frac{2\pi}{n_{\text{э}}} \Delta N_{\text{п}} \quad (4.12)$ <p>где k – целое число.</p>				
Подпись и дата		<p>4.4.2 Оценка скорости двигателя</p> <p>Скорости двигателей оцениваются по формулам:</p> $\omega_{\text{л}} = \frac{\Delta \alpha_{\text{л}}}{T_0} \quad (4.13)$ $\omega_{\text{п}} = \frac{\Delta \alpha_{\text{п}}}{T_0} \quad (4.14)$				
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата		<p>где $T_0 = 0.25\text{с}$. Нахождение оптимального (в определённом смысле) периода дискретизации состояло из следующих процедур:</p> <p>1) составление функции напряжения $U(t)$ – последовательность произвольных значений от 0.3 до 1, сменяющихся раз в секунду (см.рис. 4.8)</p>				
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	
					Лист	
					54	



2) проведение эксперимента: подача напряжения на двигатель робота, получение функции угла поворота от времени двумя способами:

1. $\alpha_3(t)$ – посредством подсчёта импульсов энкодера (менее точно);
2. $\alpha_B(t)$ – видеозапись вращения колеса робота и компьютерный анализ полученной записи (более точно);

3) оценка дисперсии шума функции угла поворота σ_B^2 , полученной вторым способом;

4) нахождение функции угловой скорости $\omega_B(t)$ через функцию угла поворота $\alpha_B(t)$;

5) нахождение функции угловой скорости $\omega_{\Sigma}(t, T_0)$ через функцию угла поворота $\alpha_{\Sigma}(t)$ с различными значениями периода дискретизации T_0 , и поиск такого значения T_{0opt} , при котором разница между $\omega_{\Sigma}(t, T_{0opt})$ и $\omega_B(t)$ минимальна.

Рассмотрим более подробно каждую из процедур.

1. Составление функции напряжения от времени.

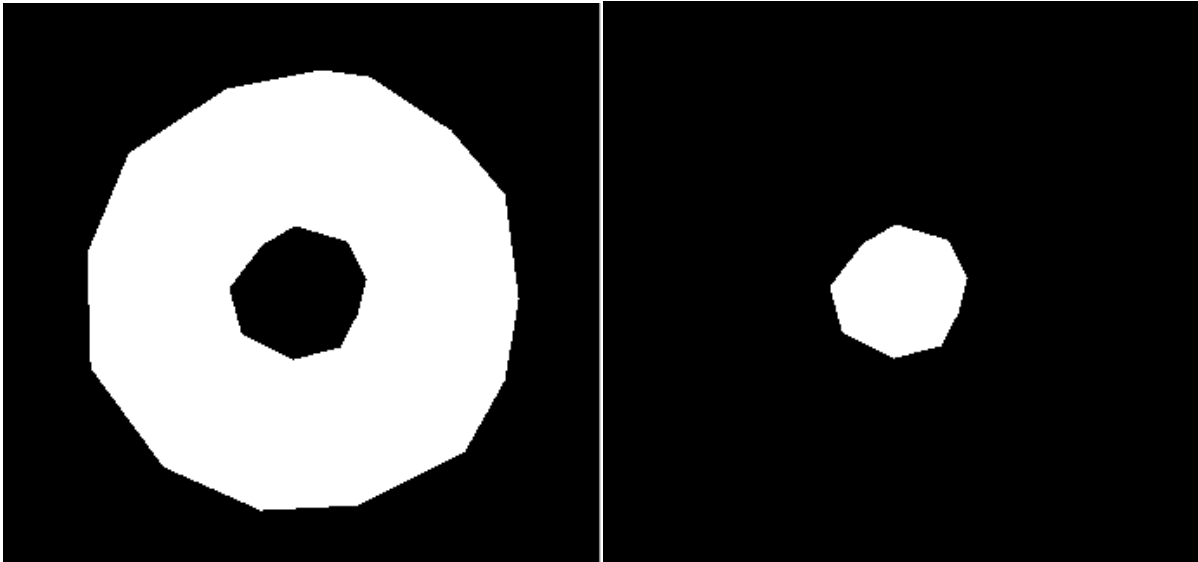
Функция напряжения от времени была получена с помощью генератора псевдослучайных чисел. Она определена на участке времени от $t = 0$ с до $t = 200$ с.

2. Проведение эксперимента.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>Для эксперимента робот был зафиксирован на месте, при этом его колесо не соприкасалось с землёй и имело возможность свободно вращаться. Перпендикулярно плоскости колеса на некотором расстоянии была установлена видеокамера с возможностью записи примерно 120 кадров в секунду (интервал между кадрами – 0,0083с). Оптическая ось камеры совпадала с осью вращения колеса.</p> <p>На колесе были сделаны две метки: в центре колеса и на спице (см. рис. 4.9). В момент запуска двигателя была начата видеозапись, а также передача данных о положении колеса (посредством подсчёта импульсов энкодера) от робота компьютеру с периодом 0,005с. В итоге получено 24095 кадров видеозаписи и 39999 значений положения колеса (через подсчёт импульсов энкодера).</p> <p>Затем был проведён анализ видеозаписи, состоявший из следующих этапов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ручное выделение областей видео для анализа: область, в пределах которой находится центральная метка, и область, внутри которой перемещается метка на спице (см. рис. 4.10); – просмотр 100 последовательных кадров из середины видеозаписи и визуальное определение координат обеих меток $x_{\text{спица}}^*$, $y_{\text{спица}}^*$, $x_{\text{центр}}^*$ и $y_{\text{центр}}^*$ (на рис. 4.11 показана визуально определённая траектория метки на спице колеса $x_{\text{спица}}^*$, $y_{\text{спица}}^*$ на фоне кадра); – обучение распознавателя меток (см. далее): запуск генетического алгоритма, который призван найти такие параметры распознавателя, чтобы минимизировать разницу между координатами меток, найденных визуально, и координатами, найденных распознавателем; – распознавание меток на всех остальных кадрах видеозаписи с применением обученного распознавателя; – нахождение положения колеса в каждый момент времени по формуле. $\alpha_B = \arctan \frac{y_{\text{пятно}} - y_{\text{центр}}}{x_{\text{пятно}} - x_{\text{центр}}} \quad (4.15)$ <p>где $x_{\text{спица}}$ и $y_{\text{спица}}$ – координаты метки на спице колеса, $x_{\text{центр}}$ и $y_{\text{центр}}$ – координаты метки в центре колеса (см рис. 4.12).</p>			
							<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Изм.	Лист	№ докум.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Рисунок 4.9 – Внешний вид колеса



а) область метки на спице колеса; б) область метки в центре колеса

Рисунок 4.10 – Области для распознавания меток


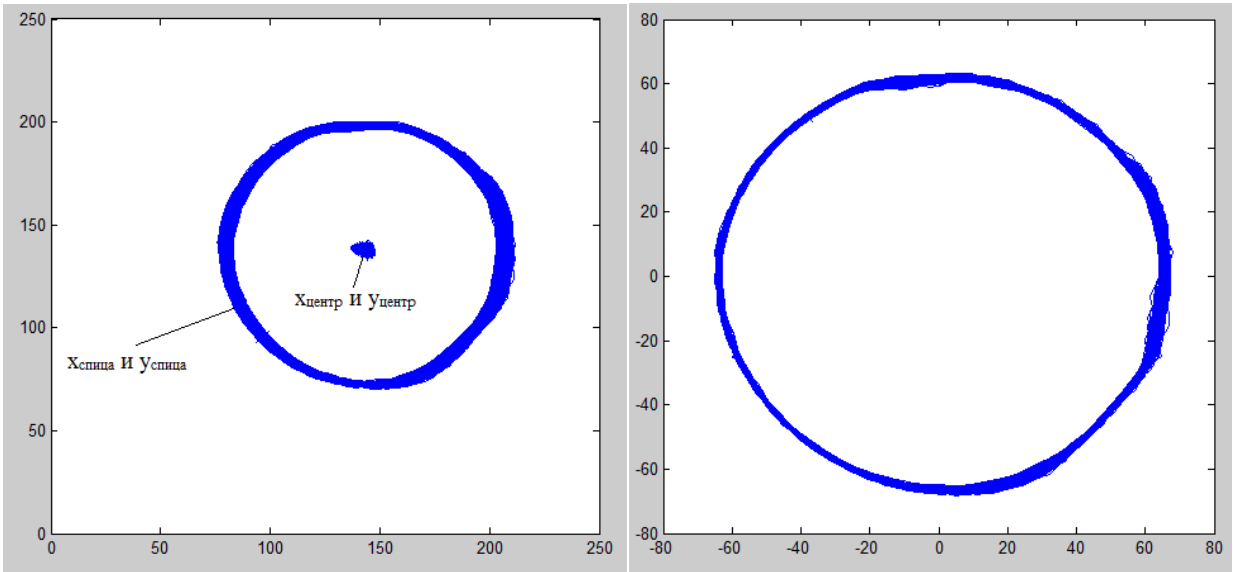
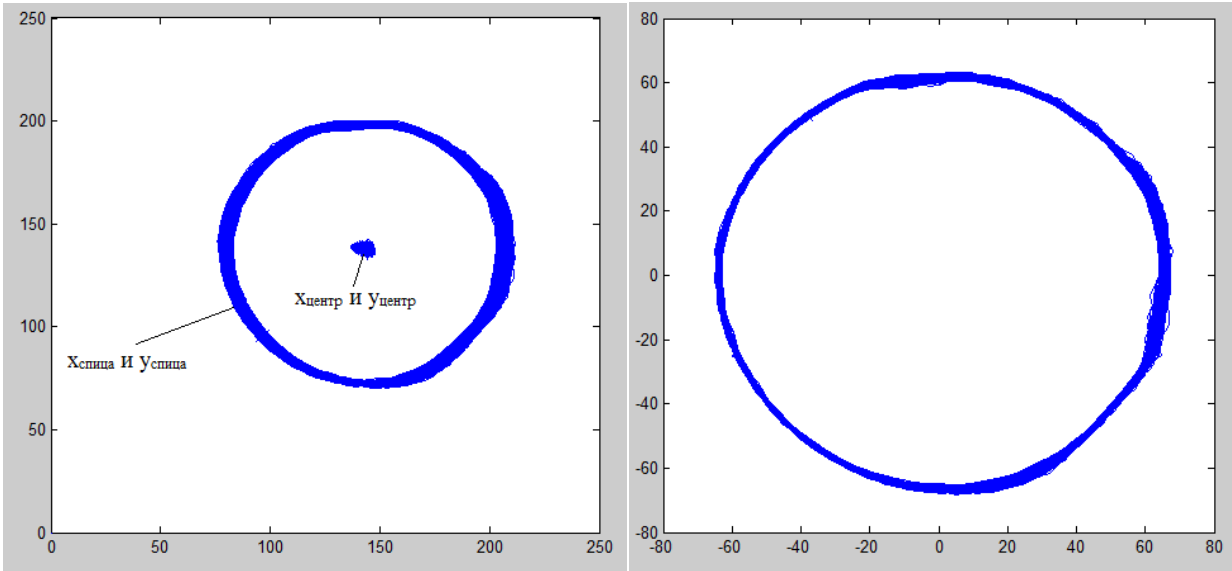
Перв. примен.	Справ. №				
		Рисунок 4.11 – Траектория метки на спице за 100 кадров			
Подпись и дата	Инв. № дубл.				
		а) траектории меток в отдельности; б) траектория метки на спице относительно метки в центре			
Взам. инв. №	Подпись и дата	Рисунок 4.12 – Траектории меток			
		<p>Алгоритм распознавателя меток состоит из следующих этапов:</p> <ul style="list-style-type: none">– преобразование значений палитры RGB (англ. «red-green-blue» - «красный-зелёный-синий») каждого пикселя кадра в палитру HSV. Палитра HSV (англ. «hue-saturation-value» – «оттенок–насыщение–яркость») состоит из трёх параметров, каждый из которых имеет значение от 0 до 1. Значения			
Инв. № подл.		БР – 15.03.06 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					58



Рисунок 4.11 – Траектория метки на спице за 100 кадров



а) траектории меток в отдельности; б) траектория метки на спице относительно метки в центре

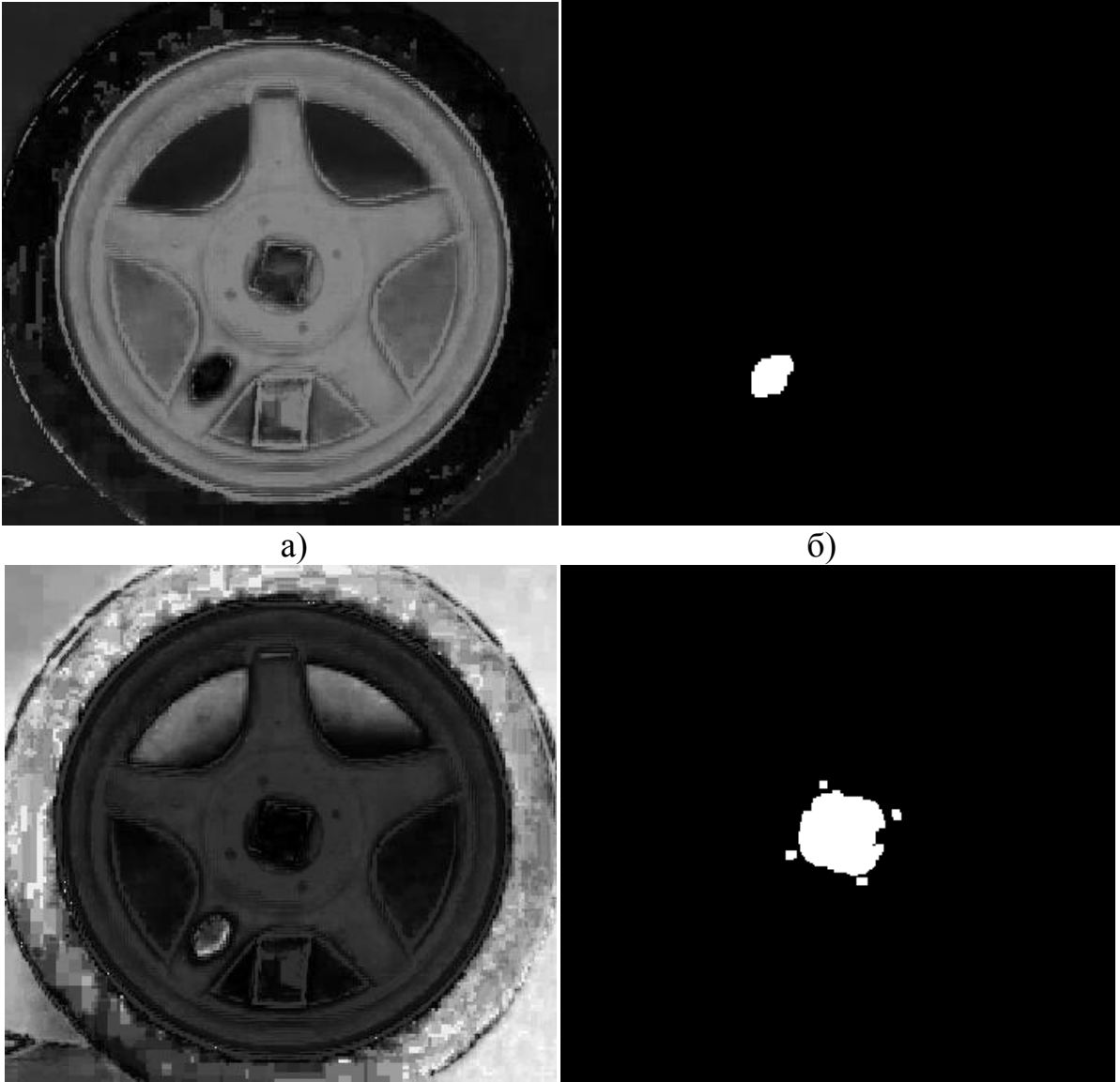
Рисунок 4.12 – Траектории меток

Алгоритм распознавателя меток состоит из следующих этапов:

- преобразование значений палитры RGB (англ. «red-green-blue» - «красный-зелёный-синий») каждого пикселя кадра в палитру HSV. Палитра HSV (англ. «hue-saturation-value» – «оттенок–насыщение–яркость») состоит из трёх параметров, каждый из которых имеет значение от 0 до 1. Значения

Перв. примен.		<p>HSV являются более информативными для анализа. Преобразование происходит по формулам</p> $V = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (4.15)$ $S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \quad (4.16)$ $H = \arccos \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (4.17)$ <p>– вычисление функции «близости к желаемому» I. Функция I(H, S, V) определяет, насколько отличаются значения H, S и V данного пикселя от заранее заданных H*, S* и V* и вычисляется как взвешенная квадратичная сумма:</p> $I(H, S, V) = w_H \cdot \min(H - H^* , 1 - H - H^*)^2 + w_S (S - S^*)^2 + w_V (V - V^*)^2 \quad (4.18)$ <p>где w_H, w_S, w_V – веса, контролирующие значимость H, S и V значений соответственно для анализа. Таким образом, распознаватель характеризуется двумя параметрами: H*, S* и V*, w_H, w_S, w_V.</p> <p>– формирование силуэта метки: если I(H, S, V) < 0.1, то пиксель принадлежит метке, иначе нет; если силуэтов (связанных областей) получилось несколько, то выбирается наибольший из них;</p> <p>– нахождение центра тяжести силуэта.</p> <p>Для обучения распознавателя используется генетический алгоритм со следующей функцией фитнеса:</p> $Q(H^*, S^*, V^*, w_H, w_S, w_V) = \sum_{i=1}^N [(x_i - x_i^*)^2 + (y_i - y_i^*)^2] \quad (4.19)$ <p>где N = 100 – количество кадров для обучения, x_i и y_i – координаты метки (на спице или в центре колеса) в i-м кадре, найденные распознавателем, x_i[*] и y_i[*] – координаты метки, найденные визуально.</p> <p>Параметры генетического алгоритма для обучения распознавателя перечислены в таблице 4.5.</p>				
Справ. №						
Подпись и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	
					Лист	
					59	

Перв. примен.					Таблица 4.5 – Параметры генетического алгоритма																										
Справ. №					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 40%;">Параметр</th> <th style="width: 60%;">Значение</th> </tr> <tr> <td>Размер поколения</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Число поколений</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Границы поиска</td> <td>Все гены (параметры распознавателя) от 0 до 1</td> </tr> <tr> <td>Генерация первого поколения</td> <td>Случайная равномерная на протяжении всей области поиска</td> </tr> <tr> <td>Селекция</td> <td>Выживают 50% наиболее приспособленных особей</td> </tr> <tr> <td>Выбор родителей</td> <td>Оба родителя выбираются случайно, каждая особь популяции имеет равные шансы быть выбранной</td> </tr> <tr> <td>Скращивание</td> <td> Случайное перемешивание генов (параметров), например: Особь №1 – [a b c d e f], особь №2 – [A B C D E F]. Создаётся случайный вектор длиной 6 из нулей и единиц: [0 1 1 0 1 0]. Если 0, то потомок принимает ген особи №1, иначе особи №2. Таким образом, потомок будет иметь генотип [aBCdEf]. </td> </tr> <tr> <td>Вероятность мутации</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Мутация</td> <td>К каждому гену мутанта прибавляется случайное число с нормальным распределением ($m = 0$, $\sigma = 0.2$). Если ген стал меньше 0, то становится равным 0; если ген стал больше 1, то он становится равным 1.</td> </tr> <tr> <td>Селекция</td> <td>Выживают 50% наиболее приспособленных особей</td> </tr> </table>					Параметр	Значение	Размер поколения	30	Число поколений	100	Границы поиска	Все гены (параметры распознавателя) от 0 до 1	Генерация первого поколения	Случайная равномерная на протяжении всей области поиска	Селекция	Выживают 50% наиболее приспособленных особей	Выбор родителей	Оба родителя выбираются случайно, каждая особь популяции имеет равные шансы быть выбранной	Скращивание	Случайное перемешивание генов (параметров), например: Особь №1 – [a b c d e f], особь №2 – [A B C D E F]. Создаётся случайный вектор длиной 6 из нулей и единиц: [0 1 1 0 1 0]. Если 0, то потомок принимает ген особи №1, иначе особи №2. Таким образом, потомок будет иметь генотип [aBCdEf].	Вероятность мутации	10%	Мутация	К каждому гену мутанта прибавляется случайное число с нормальным распределением ($m = 0$, $\sigma = 0.2$). Если ген стал меньше 0, то становится равным 0; если ген стал больше 1, то он становится равным 1.	Селекция	Выживают 50% наиболее приспособленных особей
	Параметр	Значение																													
Размер поколения	30																														
Число поколений	100																														
Границы поиска	Все гены (параметры распознавателя) от 0 до 1																														
Генерация первого поколения	Случайная равномерная на протяжении всей области поиска																														
Селекция	Выживают 50% наиболее приспособленных особей																														
Выбор родителей	Оба родителя выбираются случайно, каждая особь популяции имеет равные шансы быть выбранной																														
Скращивание	Случайное перемешивание генов (параметров), например: Особь №1 – [a b c d e f], особь №2 – [A B C D E F]. Создаётся случайный вектор длиной 6 из нулей и единиц: [0 1 1 0 1 0]. Если 0, то потомок принимает ген особи №1, иначе особи №2. Таким образом, потомок будет иметь генотип [aBCdEf].																														
Вероятность мутации	10%																														
Мутация	К каждому гену мутанта прибавляется случайное число с нормальным распределением ($m = 0$, $\sigma = 0.2$). Если ген стал меньше 0, то становится равным 0; если ген стал больше 1, то он становится равным 1.																														
Селекция	Выживают 50% наиболее приспособленных особей																														
Подпись и дата					<p>В результате обучения были найдены следующие параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> – для метки на спице колеса: $H^*=0.57$, $S^*=0.35$, $V^*=0.28$, $w_H=0.8$, $w_S=0.5$, $w_V=0.7$; – для метки в центре колеса: $H^*=0.25$, $S^*=0.55$, $V^*=0.29$, $w_H=0$; – 6, $w_S=0.4$, $w_V=0.9$; <p>Результат распознавания меток показан на рис. 4.13.</p>																										
Инв. № подл.					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; padding: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px;"></div> </div> <div style="text-align: center; flex-grow: 1;"> <p style="margin: 0;">БР – 15.03.06 ПЗ</p> </div> <div style="text-align: right; width: 100px;"> <p style="margin: 0; font-size: small;">Лист</p> <p style="margin: 0; font-size: small;">60</p> </div> </div>																										
Инв. № докум.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																											

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	 <div> <div>а)</div> <div>б)</div> <div>в)</div> <div>г)</div> </div> <p>а) функция $I(H,S,V)$ для метки на спице; б) распознавание метки на спице; в) функция $I(H,S,V)$ для метки в центре; б) распознавание метки в центре</p> <p>Рисунок 4.13 – Распознавание меток</p> <p>Несмотря на то, что $\alpha_3(t)$ имеет меньший период дискретизации, чем $\alpha_B(t)$ (0,005с против 0,0083с), функция $\alpha_3(t)$ оценивает угол поворота менее качественно, чем $\alpha_B(t)$, так как значения $\alpha_3(t)$ квантованы с интервалом 0.105 радиан (6 градусов). Графики обеих функций для сравнения показаны на рис. 4.14.</p>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ		Лист
							61

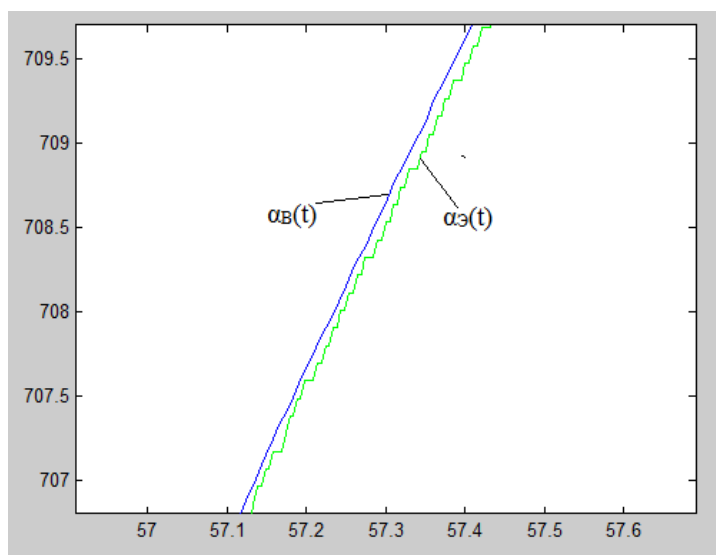


Рисунок 4.14 – Графики функций угла поворота от времени (фрагмент)

3. Оценка дисперсии шума функции $\alpha_B(t)$.

Для оценки дисперсии шума σ_B^2 рассмотрим участка $\alpha_B(t)$ с момента $t = 200$ с (момент остановки колеса) и до $t = 208$ с (конец видеозаписи). График $\alpha_B(t)$ на данном участке представлен на рис. 4.15.

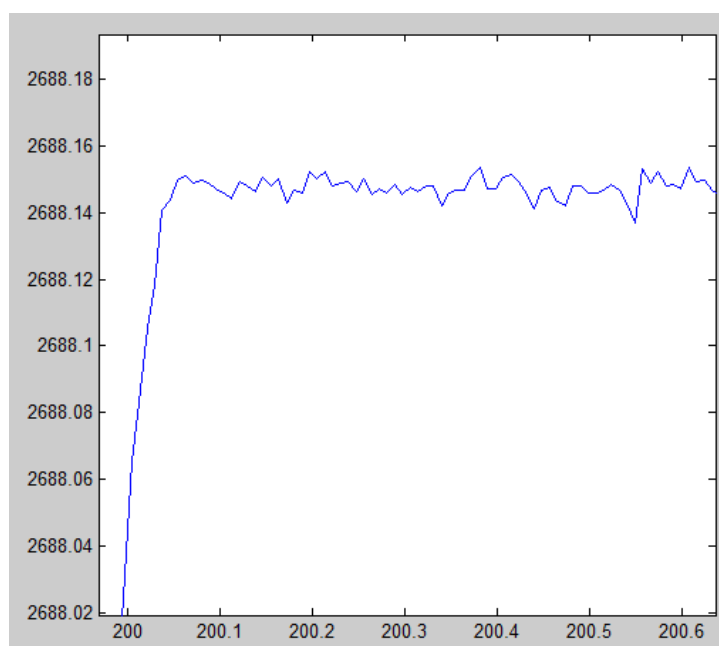


Рисунок 4.15 – График $\alpha_B(t)$ после остановки колеса

Дисперсия значений функции на данном участке составила $1.1 \cdot 10^{-4}$ рад².

Перв. примен.

Справа. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

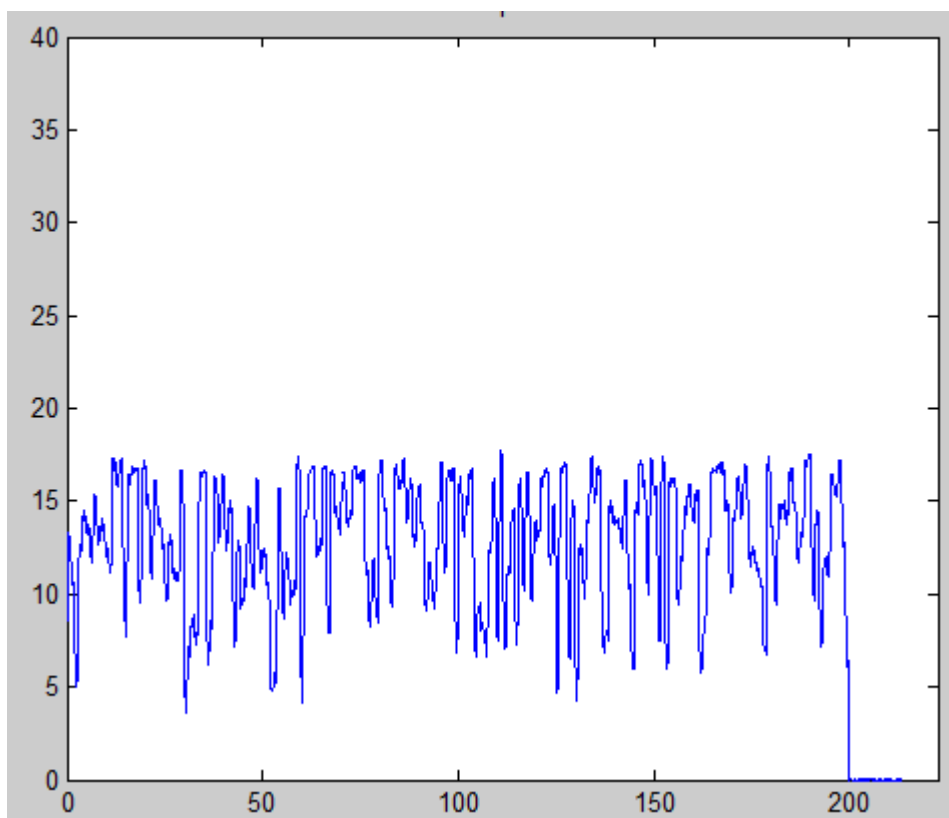
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

62

Перв. примен.		<p>4. Получение функции $\omega_B(t)$.</p> <p>Функция угловой скорости $\omega_B(t)$ находится, как производная функции положения колеса $\alpha_B(t)$, по формуле</p> $\omega_B(t) = \frac{\alpha_B(t + 0,5T_0) - \alpha_B(t - 0,5T_0)}{T_0} \quad (4.20)$																							
Справ. №		<p>Если рассматривать $\alpha_B(t)$ как сумму полезного сигнала $\alpha_B^*(t)$ и шума $e(t)$, то получим</p> $\omega_B(t) = \frac{\alpha_B^*(t + 0,5T_0) - \alpha_B^*(t - 0,5T_0)}{T_0} + \frac{e(t + 0,5T_0) - e(t - 0,5T_0)}{T_0} \quad (4.21)$ <p>Полагая, что параметры шума одинаковы на всём протяжении функции $\alpha_B(t)$, найдём дисперсию второго слагаемого:</p> $D\left[\frac{e(t + 0,5T_0) - e(t - 0,5T_0)}{T_0}\right] = \frac{2\sigma_B^2}{T_0^2} \quad (4.22)$																							
Подпись и дата		<p>Таким образом, используя достаточный период дискретизации, можно значительно уменьшить влияние шума. Полагая, что параметры шума одинаковы на всём протяжении функции $\alpha_B(t)$, найдём такое T_0, чтобы СКО второго слагаемого была меньше 0.1 градуса (0,00175 рад):</p> $\frac{2\sigma_B^2}{T_0^2} = 0.00175^2 \quad (4.23)$																							
Инв. № дубл.		$T_0 = \frac{\sqrt{2}\sigma_B}{0.00175} = \frac{1.414 * 0.00011}{0.00175} \approx 0.088с \quad (4.24)$																							
Взам. инв. №		<p>Увеличим T_0 так, чтобы оно было кратно 0.0083с (период дискретизации α_B):</p> $T_0 = 0.0913с. \quad (4.25)$																							
Подпись и дата		<p>Используя данное значение T_0, получим функцию $\alpha_B(t)$. Её график показан на рис. 4.16.</p>																							
Инв. № подл.		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="159 2072 231 2116"></td> <td data-bbox="231 2072 303 2116"></td> <td data-bbox="303 2072 375 2116"></td> <td data-bbox="375 2072 446 2116"></td> <td data-bbox="446 2072 518 2116"></td> <td data-bbox="518 2072 1468 2116" rowspan="3">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td data-bbox="1468 2072 1548 2116">Лист</td> </tr> <tr> <td data-bbox="159 2116 231 2161"></td> <td data-bbox="231 2116 303 2161"></td> <td data-bbox="303 2116 375 2161"></td> <td data-bbox="375 2116 446 2161"></td> <td data-bbox="446 2116 518 2161"></td> <td data-bbox="1468 2116 1548 2161">63</td> </tr> <tr> <td data-bbox="159 2161 231 2184">Изм.</td> <td data-bbox="231 2161 303 2184">Лист</td> <td data-bbox="303 2161 375 2184">№ докум.</td> <td data-bbox="375 2161 446 2184">Подпись</td> <td data-bbox="446 2161 518 2184">Дата</td> <td data-bbox="1468 2161 1548 2184"></td> </tr> </table>										БР – 15.03.06 ПЗ	Лист						63	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист																			
						63																			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																					



5. Получение функции $\omega_3(t, T_0)$ и оптимального T_0 .

Функция угловой скорости $\omega_3(t, T_0)$ находится, как производная функции положения колеса $\alpha_3(t)$, по формуле

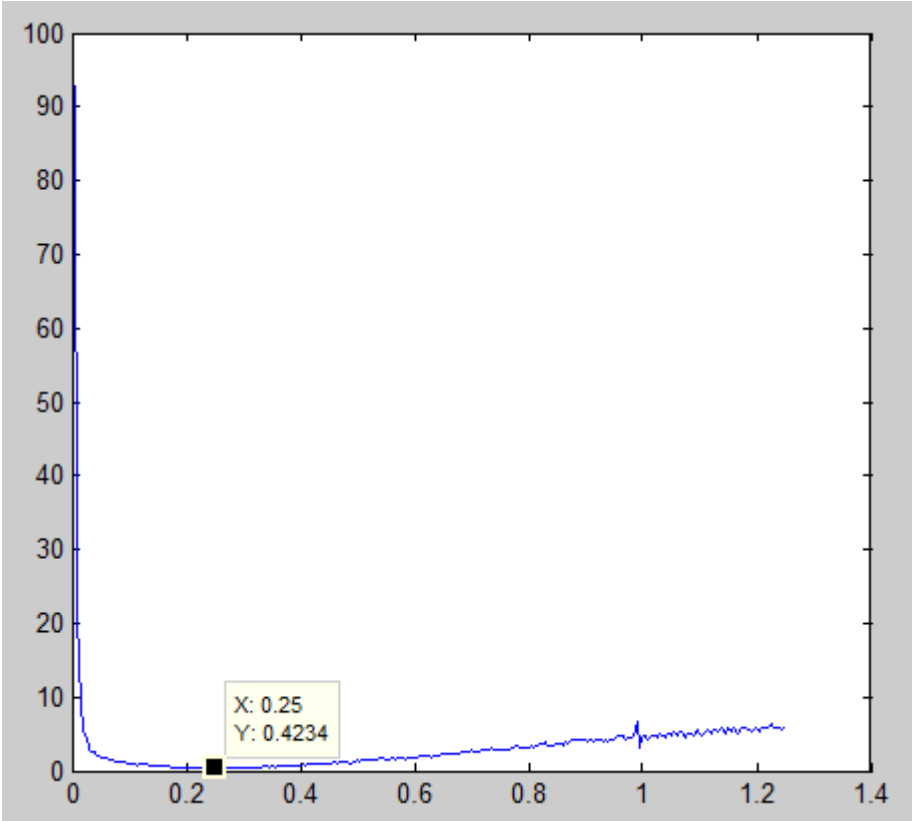
$$\omega_{\mathfrak{I}}(t) = \frac{\alpha_{\mathfrak{I}}(t) - \alpha_B(t - T_0)}{T_0} \quad (4.26)$$

где T_0 – период дискретизации, кратный 0,005с.

Для каждого T_0 , найдём $\omega_{\text{э}}(t, T_0)$ во всех точках $t = kT_0 < 200\text{с}$. Затем найдём $\omega_{\text{э}}^{\text{инт}}(t, T_0)$ – интерполяцию функции $\omega_{\text{э}}(t, T_0)$ (по методу соседа слева) в моменты времени, когда были получены кадры видеозаписи, то есть в моменты $t = 0,0083k$ (с), k – целое число. Чтобы найти такой T_0 , при котором функция $\omega_{\text{э}}$ наиболее точно оценивает угловую скорость колеса, воспользуемся функцией разницы

$$Q(T_0) = \sum_{i=1}^{24095} (\omega_B(0,0083i) - \omega_{\mathfrak{I}}^{um}(0,0083i, T_0)) \quad (4.27)$$

где 24095 – кол-во кадров видеозаписи.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>График $Q(T_0)$ представлен на рис. 4.17. Из него видно, что оптимальным значением T_0 является 0,25с.</p> 					Лист
							<p>Рисунок 4.17 – График функции $Q(T_0)$</p> <p>Графики $\omega_{\text{э}}(t, 0.25)$ и $\omega_{\text{в}}(t)$ показаны для сравнения на рис. 4.18.</p>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ							

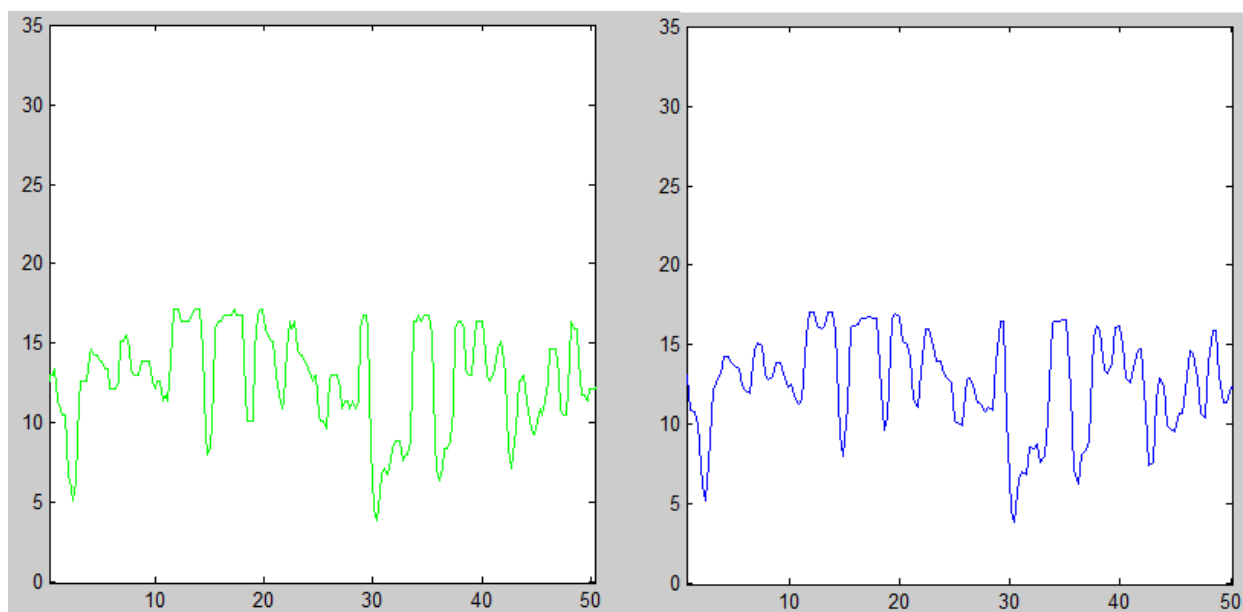


Рисунок 4.18 – Графики функций $\omega_{\text{Э}}(t, 0.25)$ (слева) и $\omega_{\text{В}}(t)$ (справа)

4.4.3 Оценка положения робота

Оценка положения робота обновляется раз в 0,005с. Для этого вычисляется путь, пройденный каждым из колёс, за последние 0,005с:

$$\Delta S_{\text{Л}}(k) = R(\alpha_{\text{Л}}(k) - \alpha_{\text{Л}}(k-1)) \quad (4.28)$$

$$\Delta S_{\text{П}}(k) = R(\alpha_{\text{П}}(k) - \alpha_{\text{П}}(k-1)) \quad (4.29)$$

Путь, пройденный срединной точкой между передними колёсами:

$$\Delta S = \frac{\Delta S_{\text{Л}} + \Delta S_{\text{П}}}{2} \quad (4.30)$$

Пути $\Delta S_{\text{Л}}$, $\Delta S_{\text{П}}$ и ΔS показаны на рис. 4.19. Приращение азимута робота:


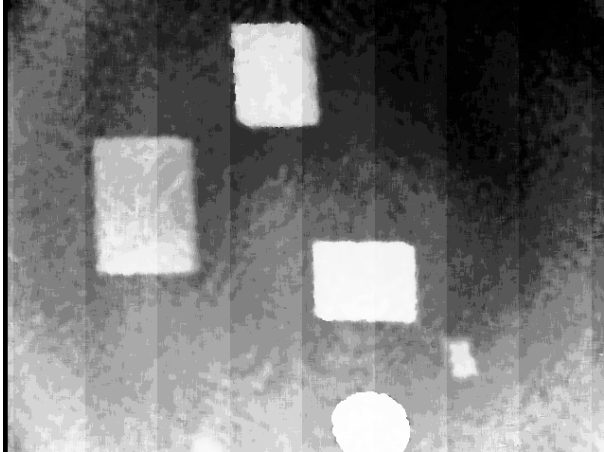
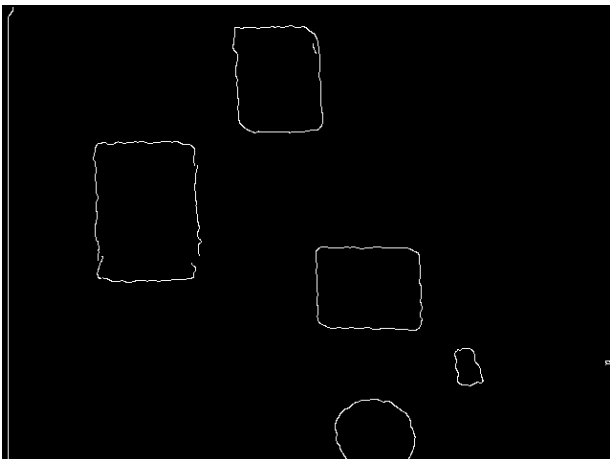
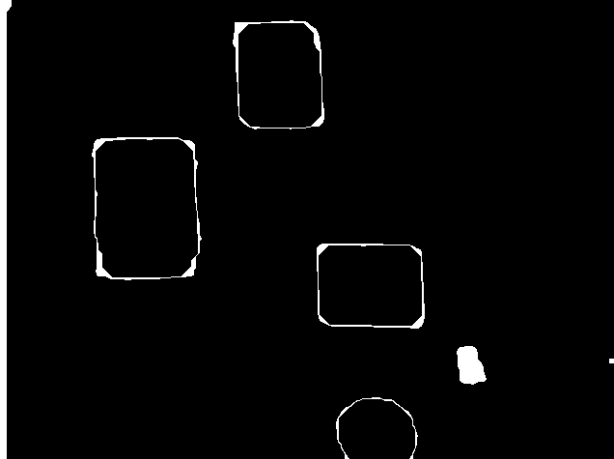
$$\Delta \alpha = \frac{\Delta S_{\text{П}} - \Delta S_{\text{Л}}}{L} \quad (4.31)$$

Новое значение азимута робота:

$$\alpha(k) = \alpha(k-1) + \Delta \alpha \quad (4.32)$$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	И
------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	------	------	----------	---------	------	---

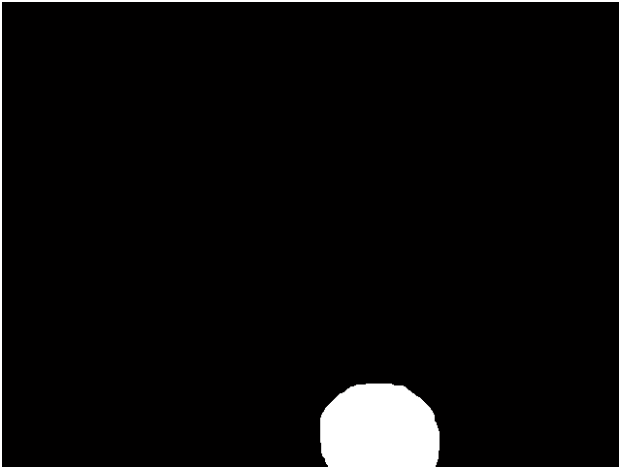
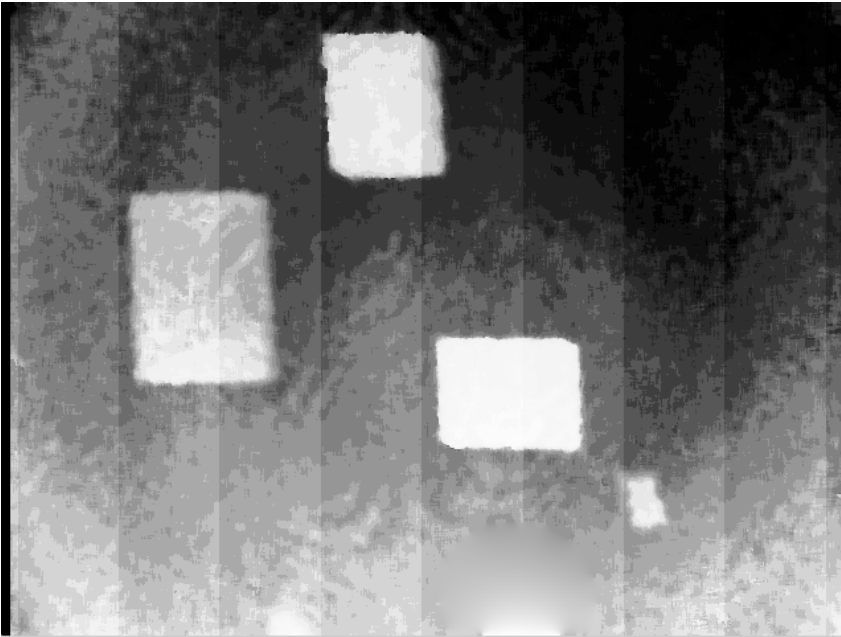
Перв. примен.	<p>Двигатели управляются ПИД-регуляторами, задающими напряжение:</p> $U(k) = K_{\Pi} \cdot e_{\omega}(k) + K_{И} T_0 \sum_{i=1}^k e_{\omega}(i) + \frac{K_{Д}}{T_0} (e_{\omega}(k) - e_{\omega}(k-1)) \quad (4.39)$ <p>где $e_{\omega} = \omega^*(k) - \omega(k)$.</p> <p>Поскольку оценки угловых скоростей колёс обновляются раз в 0,25с, то и период дискретизации регулятора скорости двигателя равен 0,25с.</p> <p>Экспериментально было установлены приемлемые значения параметров регулятора:</p> $K_{\Pi} = 0.01, K_{И} = 0.1, K_{Д} = 0. \quad (4.40)$				
	Справ. №	<p>4.4.6 Регулятор положения робота</p> <p>Задача регулятора положения робота – достигать заданных координат. Для этого регулятор управляет линейной и угловой скоростью робота. Они задаются в соответствии с другими двумя переменными: расстоянием до цели D и углом между текущим направлением робота α и направлением на цель α^*:</p> <p>если $\Delta\alpha < 1$ рад, то $v = 0.5$ м/с, $\omega = 0$; иначе $v = 0.2$ м/с, $\omega = 3$ рад/с. Здесь</p> $D = \sqrt{(x_1 - x_1^*)^2 + (x_2 - x_2^*)^2} \quad (4.41)$ $\Delta\alpha = \alpha^* - \alpha \quad (4.42)$ $\alpha^* = \arctan \frac{x_2^* - x_2}{x_1^* - x_1} \quad (4.43)$ <p>Период дискретизации T_0 равен 0,005с.</p>			
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.
	<div>Лист</div> <div>68</div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>5 Экспериментальное исследование</p> <p>Эксперимент был проведён в помещении. На рисунке 5.1 показан обычный цветной снимок и трёхмерное изображение, полученные летательным аппаратом. Круглый белый объект в нижней части изображений является наземным роботом.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> а) б) </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">а) фотография; б) трёхмерное изображение</p> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Рисунок 5.1 – Фотография и трёхмерное изображение местности</p> <p>К трёхмерному изображению была применена процедура выделения силуэтов объектов, этапы которой показаны на рис. 5.2.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> а) б) </div>
												БР – 15.03.06 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Лист	69
------	----

Справа. №		Перв. примен.	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p>а) оператор Канни; б) морфологическое замыкание; в) заполнение внутренних областей; г) удаление малых силуэтов</p> <p>Рисунок 5.2 – Получение силуэтов объектов</p> <p>Далее был вычислен параметр s для каждого силуэта. Самое большое значение этого параметра $s = 0.84$ – у силуэта робота. На рисунке 5.3 представлены значения данного параметра для всех силуэтов.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Рисунок 5.3 – Значение параметра s для различных силуэтов</p> <p>Далее были вычислены координаты центра тяжести силуэта робота:</p> <p>$x = 381, y = 432.$</p>												
Инов. № подл.		Подпись и дата		Инов. № дубл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инов. № инв.		Инов. № дубл.		Подпись и дата	
БР – 15.03.06 ПЗ														Лист	
Изм. Лист № докум. Подпись Дата														70	

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<p>Был найден масштаб изображения:</p> <p>$M = 304 \text{ пиксель/метр.}$ (5.2)</p> <p>Силуэт робота затем был морфологически наращен (рисунок 5.4). Используя данный силуэт, программа «удалила» наземного робота из исходного изображения (см. рис. 5.5).</p>
							 <p>Рисунок 5.4 – Увеличенный силуэт робота</p>  <p>Рисунок 5.5 – Трёхмерное изображение местности без мобильного робота</p> <p>Полученное изображение было сжато для получения карты высот (см. рисунок 5.6).</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			<div>БР – 15.03.06 ПЗ</div> <div>Лист 71</div>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.

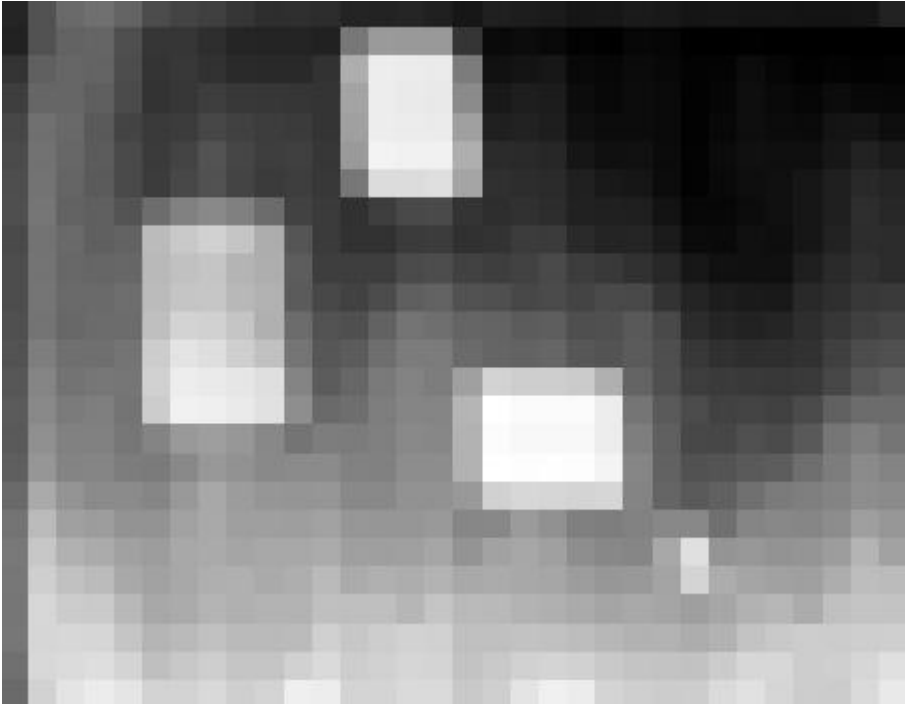


Рисунок 5.6 – Карта высот

Используя карту высот, алгоритм поиска кратчайшего пути нашёл путь, показанный на рисунке 5.7. Максимальное изменение высоты, которое робот может преодолеть, было назначено 30.

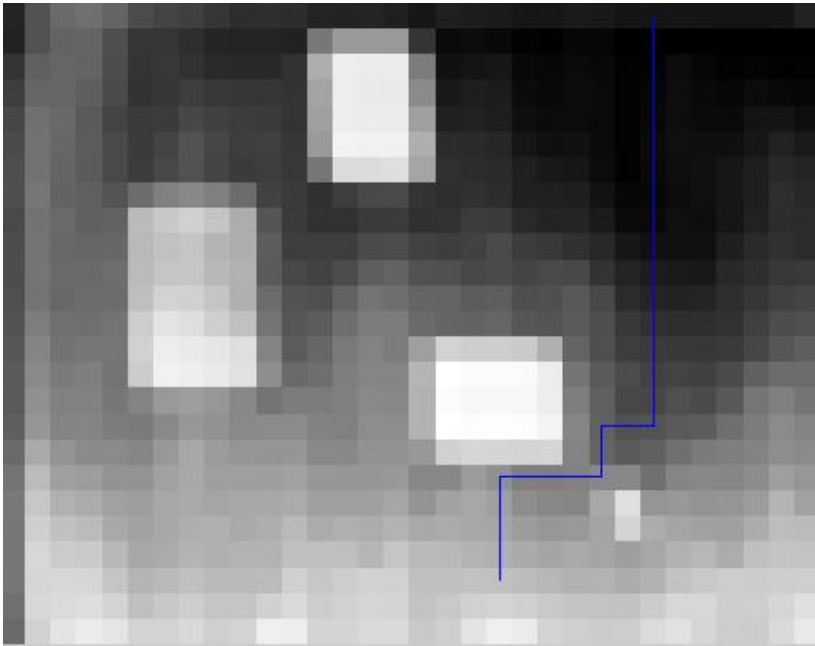


Рисунок 5.7 – Найденный кратчайший путь

					БР – 15.03.06 ПЗ		Лист
							72

Далее роботу была передана команды «сброс нуля системы координат», «начать вещание» и «выбор новой траектории». Список координат точек траектории приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Координаты точек траектории робота

x_1	x_2
0	0
0.1974	0
0.1974	-0.0987
0.2961	-0.0987
0.2961	-0.8882

Реальная траектория робота показана на рис. 5.8.

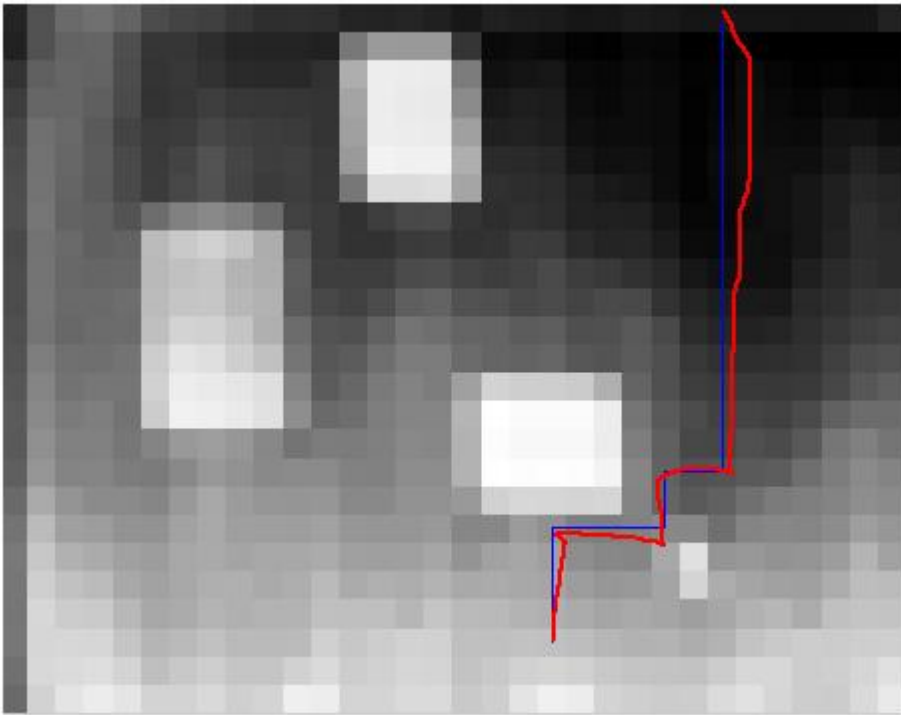


Рисунок 5.8 – Желаемая и реальная траектории робота

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">6 Технико-экономическое обоснование проекта</h2> <p>В соответствии с техническим заданием на дипломное проектирование для исследовательских работ было приобретено необходимое оборудование и программное обеспечение. В данном разделе производится расчёт сметы затрат, связанных с их приобретением и обслуживанием.</p> <p>Смета затрат – это выражение в денежной форме затрат предприятия на разработку и выполнение хозяйственно-договорной работы. Смета затрат будет складываться из затрат на:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) основное оборудование и программное обеспечение; б) заработную плату; в) амортизацию оборудования; г) аренду помещения. <p>Далее представлен расчет всех составляющих сметы затрат.</p> <h3>6.1 Расчет затрат на основное оборудование и программное обеспечение</h3> <p>Стоимость затрат на приобретение компонентов и программного обеспечения вычислим по формуле:</p> $S_3 = S_{об} + S_{прог}, \tag{6.1}$ <p>где $S_{об}$ – стоимость затрат на приобретение компонентов; $S_{прог}$ – затраты на приобретение программного обеспечения</p> <p>Затраты на приобретение программного обеспечения приведены в таблице 6.1, затраты на приобретение оборудования– в таблице 6.2.</p> <p>Таблица 6.1 – Стоимость программного обеспечения</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Стоимость, руб.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Windows 7 HomeEdition</td> <td>5590</td> </tr> <tr> <td>MicrosoftOffice 2007 Win32 Russian</td> <td>13999</td> </tr> <tr> <td>MATLAB and Simulink Student Suite</td> <td>5340</td> </tr> <tr> <td>Общая стоимость</td> <td>24929</td> </tr> </tbody> </table>					Наименование	Стоимость, руб.	Windows 7 HomeEdition	5590	MicrosoftOffice 2007 Win32 Russian	13999	MATLAB and Simulink Student Suite	5340	Общая стоимость	24929
	Наименование	Стоимость, руб.													
Windows 7 HomeEdition	5590														
MicrosoftOffice 2007 Win32 Russian	13999														
MATLAB and Simulink Student Suite	5340														
Общая стоимость	24929														
Справа. №															

Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.					
					БР – 15.03.06 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Лист
74

Перв. примен.	<p>Таблица 6.2 – Стоимость компонентов</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 20px;"> <tr> <th style="width: 40%;">Наименование</th> <th style="width: 15%;">Количество, шт.</th> <th style="width: 20%;">Цена за шт., руб.</th> <th style="width: 25%;">Сумма, руб.</th> </tr> <tr> <td>Комплект DJI 450 KIT</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">25000</td> <td style="text-align: center;">25000</td> </tr> <tr> <td>Мобильный робот</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">7000</td> <td style="text-align: center;">7000</td> </tr> <tr> <td>3D-сенсор KinectMicrosoft</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">6800</td> <td style="text-align: center;">6800</td> </tr> <tr> <td>Адаптер питания сенсора</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">950</td> <td style="text-align: center;">950</td> </tr> <tr> <td>Персональный компьютер AcerAspire /3.0Gb/500Gb/512Mb</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">12500</td> <td style="text-align: center;">12500</td> </tr> <tr> <td>Общая стоимость</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">52250</td> </tr> </table> <p style="margin-top: 20px;">Общая стоимость затрат на приобретение компонентов и программного обеспечения равна:</p> $S_3 = 24929 + 52250 = 77179 \text{ руб.} \tag{6.2}$ <p style="margin-top: 20px;">6.2 Расчет фонда заработной платы разработчикам</p> <p>В период разработки установки оклад ведущего инженера $S_{\text{окл.инж}}$ составил 3200 рублей в месяц.</p> <p>Определим дневную заработную плату ведущего инженера:</p> $S_{\text{зп.дн.инж}} = S_{\text{окл.инж}} / N, \tag{6.3}$ <p>где $N = 21$ – число рабочих дней в месяце. Тогда</p> $S_{\text{зп.дн.инж}} = 3200 / 21 = 152 \text{ руб.} \tag{6.4}$ <p>Определим основную заработную плату руководителя дипломного проекта:</p> $S_{\text{осн.инж}} = S_{\text{зп.дн.инж}} \cdot n, \tag{6.5}$ <p>где $n = 84$ – число рабочих дней за четыре месяца работы. Тогда</p> $S_{\text{осн.инж}} = 152 \cdot 84 = 12768 \text{ руб.} \tag{6.6}$					Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Сумма, руб.	Комплект DJI 450 KIT	1	25000	25000	Мобильный робот	1	7000	7000	3D-сенсор KinectMicrosoft	1	6800	6800	Адаптер питания сенсора	1	950	950	Персональный компьютер AcerAspire /3.0Gb/500Gb/512Mb	1	12500	12500	Общая стоимость	52250			Справ. №
	Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Сумма, руб.																														
Комплект DJI 450 KIT	1	25000	25000																															
Мобильный робот	1	7000	7000																															
3D-сенсор KinectMicrosoft	1	6800	6800																															
Адаптер питания сенсора	1	950	950																															
Персональный компьютер AcerAspire /3.0Gb/500Gb/512Mb	1	12500	12500																															
Общая стоимость	52250																																	
Подпись и дата						Инв. № дубл.																												
Взам. инв. №						Подпись и дата																												
Инв. № подл.						Лист																												
БР – 15.03.06 ПЗ					75																													

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Перв. примен.	Дополнительная заработная плата:				
	$S_{\text{доп.инж}} = S_{\text{осн.инж}} \cdot k_{\text{дз}}, \tag{6.7}$				
Справ. №	где $k_{\text{дз}} = 0,2$ – коэффициент дополнительной заработной платы. Тогда				
	$S_{\text{доп.инж}} = 12768 \cdot 0,2 = 2554 \text{ руб.} \tag{6.8}$				
	Размер надбавки к заработной плате с учетом районного коэффициента:				
	$S_{\text{рк.инж}} = (S_{\text{осн.инж}} + S_{\text{доп.инж}}) \cdot k_{\text{рк}}, \tag{6.9}$				
	где $k_{\text{рк}} = 0,3$ – районный коэффициент для Красноярска. Тогда				
	$S_{\text{рк.инж}} = (12768 + 2554) \cdot 0,3 = 4597 \text{ руб.} \tag{6.10}$				
	Размер надбавки к заработной плате с учетом северного коэффициента:				
	$S_{\text{ск.инж}} = (S_{\text{осн.инж}} + S_{\text{доп.инж}}) \cdot k_{\text{ск}}, \tag{6.11}$				
Подпись и дата	где $k_{\text{ск}} = 0,3$ – районный коэффициент для Красноярска. Тогда				
	$S_{\text{рк.инж}} = (12768 + 2554) \cdot 0,3 = 4597 \text{ руб.} \tag{6.12}$				
Инв. № дубл.	Полностью фонд заработной платы всех работников без отчислений на социальные нужды:				
	$\Phi_{\text{от.общ}} = (S_{\text{осн.инж}} + S_{\text{доп.инж}} + S_{\text{рк.инж}} + S_{\text{ск.инж}}) \cdot Ч_{\text{р}}, \tag{6.13}$				
Взам. инв. №	где $Ч_{\text{р}}$ – количество работников. Тогда				
	$\Phi_{\text{от.общ}} = 12768 + 2554 + 4597 + 4597 = 24516 \text{ руб.} \tag{6.14}$				
Подпись и дата	После определения общего размера заработной платы произведем расчет отчислений на социальные нужды. Они берутся от фонда оплаты труда (суммы основной и дополнительной заработной платы) в размере 30,2% из них:				
	– единый социальный налог – 30%;				
Инв. № подл.					
Изм. Лист № докум. Подпись Дата					Лист
БР – 15.03.06 ПЗ					76

Перв. примен.		<p>– тариф на обязательное медицинское страхование и профессиональные заболевания – 0,2%;</p> <p>Таким образом,</p> $S_{\text{соц}} = R_{\text{соц}} \cdot (S_{\text{осн.инж}} + S_{\text{доп.инж}}), \quad (6.15)$				
Справ. №		<p>где $R_{\text{соц}} = k_{\text{есн}} + k_{\text{омс}}$,</p> <p>$k_{\text{есн}} = 0,3$ – единый социальный налог;</p> <p>$k_{\text{омс}} = 0,002$ – отчисления в фонд обязательного медицинского страхования.</p> <p>Тогда</p> $S_{\text{соц}} = (0,3 + 0,002) \cdot (12768 + 2554) = 4627 \text{ руб.} \quad (6.16)$ <p>Всего фонд оплаты труда с отчислениями на социальные нужды:</p> $\Phi_{\text{отс}} = \Phi_{\text{от.общ}} + S_{\text{соц}}; \quad (6.17)$ $\Phi_{\text{отс}} = 24516 + 4627 = 29143 \text{ руб.} \quad (6.18)$ <p>6.3 Затраты на амортизацию оборудования</p> <p>Для расчёта затрат на амортизацию оборудования необходимо определить время эксплуатации каждого из элементов оборудования. Для работ по настройке и программированию робота, а также для составления дополнительного программного обеспечения использовался персональный компьютер. В то же время, время эксплуатации робототехнического комплекта составило лишь несколько десятков часов в сумме, что пренебрежительно мало по сравнению со сроком службы электродвигателей и сроком службы бортового контроллера (5 лет).</p> <p>Таким образом, суммарные затраты на амортизацию определяются по формуле</p> $Z_A = Z_{AK}, \quad (6.19)$ <p>где Z_{AK} – затраты на амортизацию компьютера.</p> <p>Определим затраты на амортизацию компьютера по формуле:</p> $Z_{AK} = \frac{C_K \cdot n_m}{n_l \cdot 12}, \quad (6.20)$				
Подпись и дата						
Инв. № дубл.						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР – 15.03.06 ПЗ	
						Лист 77

Перв. примен.	<p>где $C_K = 12500$ руб. – первоначальная стоимость оборудования; $n_m = 4$ месяца – время использования; $n_l = 5$ лет – срок службы. Тогда</p> $Z_A = Z_{AK} = \frac{12500 \cdot 4}{5 \cdot 12} = 833 \text{ руб.} \tag{6.21}$																									
Справ. №	<p>6.4 Расходы на аренду помещения</p> <p>Расходы на аренду помещения за время разработки системы составили:</p> $Z_{АП} = Z_{А1} \cdot П \cdot T_p, \tag{6.22}$ <p>где $Z_{А1} = 200$ руб. – стоимость аренды за один квадратный метр площади; $П = 53 \text{ м}^2$ – площадь помещения; $T_p = 4$ месяца – продолжительность этапа разработки. Тогда</p> $Z_{АП} = 200 \cdot 53 \cdot 4 = 42400 \text{ руб.} \tag{6.23}$																									
Подпись и дата	<p>6.5 Смета затрат</p> <p>Все затраты, связанные с приобретением и использованием оборудования и программного обеспечения, амортизацию, оплату труда и аренду помещения, приведены в таблице 7.3 и показаны в доленом соотношении на рисунке 7.1.</p> <p>Таблица 6.3 – Смета затрат</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <th style="width: 70%;">Наименование затрат</th> <th style="width: 30%;">Сумма затрат, руб.</th> </tr> <tr> <td>Затраты на основное оборудование и прогр. обеспечение</td> <td>77179</td> </tr> <tr> <td>Фонд оплаты труда</td> <td>29143</td> </tr> <tr> <td>Затраты на амортизацию оборудования</td> <td>833</td> </tr> <tr> <td>Расходы на аренду помещения</td> <td>42400</td> </tr> <tr> <td>Итого</td> <td>149555</td> </tr> </table>					Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Затраты на основное оборудование и прогр. обеспечение	77179	Фонд оплаты труда	29143	Затраты на амортизацию оборудования	833	Расходы на аренду помещения	42400	Итого	149555									
	Наименование затрат	Сумма затрат, руб.																								
Затраты на основное оборудование и прогр. обеспечение	77179																									
Фонд оплаты труда	29143																									
Затраты на амортизацию оборудования	833																									
Расходы на аренду помещения	42400																									
Итого	149555																									
Инов. № подл.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td style="text-align: center;">78</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Изм.</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">№ докум.</td> <td style="text-align: center;">Подпись</td> <td style="text-align: center;">Дата</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>											Лист						БР – 15.03.06 ПЗ	78	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
							Лист																			
					БР – 15.03.06 ПЗ	78																				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																						

Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

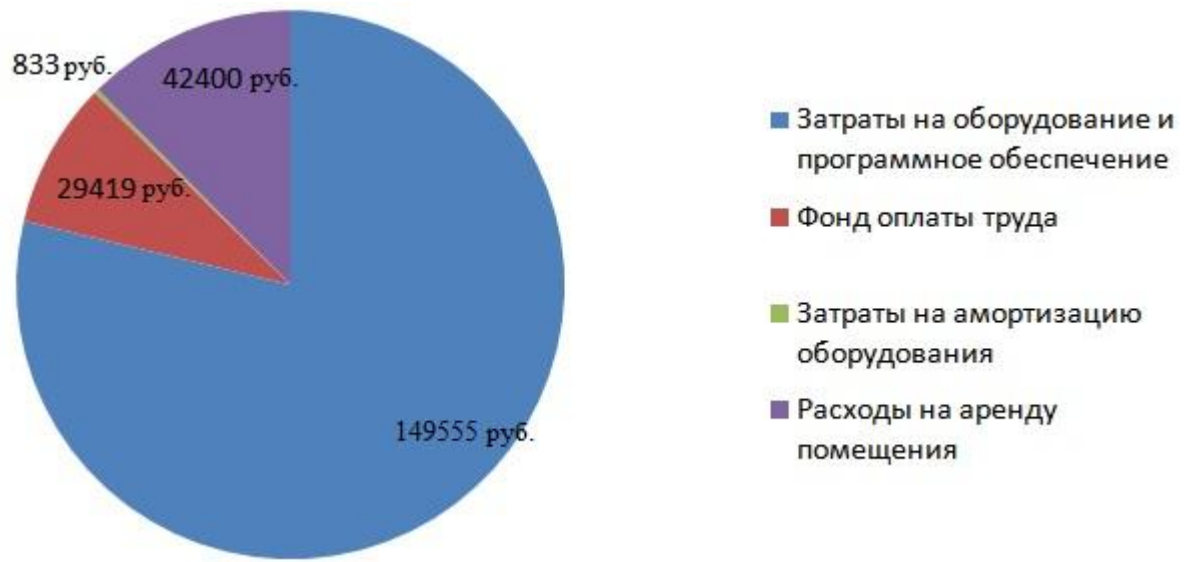


Рисунок 6.1 – Диаграмма затрат

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Перв. примен.	<h2 style="text-align: center;">7 Безопасность и экологичность проекта</h2> <p>Содержимое робототехнических комплектов как беспилотного летательного аппарата так и собранного самостоятельно мобильного робота должно обеспечивать требования безопасности при монтажных работах, эксплуатации и ремонте, транспортировании и хранении.</p> <p>Большая часть мер безопасности реализована на проектном этапе. На этом уровне проектирования в конструкцию оборудования закладываются более пяти десятков различных требований безопасности в соответствии с положениями более двух десятков стандартов системы стандартов безопасности труда(ССБТ) и других нормативных документов.</p> <p>Безопасность оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ 12.0.003, ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.2.003 обеспечивается:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.; – применением в конструкции безопасных материалов и веществ; – применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления; – выполнением эргономических и эстетических требований; – выбором безопасных органов управления; – применением в конструкции средств защиты; – соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении; – размещением оборудования на площадке; – выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности; – включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению; – контролем за соблюдением требований безопасности, правил эксплуатации и трудового законодательства по охране труда работающими. <p>В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации оборудования в течение всего срока службы.</p> <p>Оборудование робототехнических комплектов при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по требованиям ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.</p>				
	Справ. №				
Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	<div style="text-align: right; font-weight: bold;">БР – 15.03.06 ПЗ</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div style="text-align: right;">Лист</div> <div style="text-align: right; font-weight: bold;">80</div>

Перв. примен.	7.1 Безопасность элементов робототехнических комплектов				
	В комплекты беспилотного летательного аппарата и наземного мобильного робота входят: <ul style="list-style-type: none">– корпусные и крепежные элементы;– электродвигатели;– бортовые контроллеры;– аккумуляторные батареи;– зарядные устройства;– кабели;– датчики;– приемники и передатчики беспроводного (инфракрасного) сигнала. Все элементы робототехнических комплектов, если не указано иного, не представляют высокой пожарной (ГОСТ 12.1.004) и взрывоопасности (ГОСТ 12.1.010).				
Справ. №	7.1.1 Корпусные и крепежные элементы				
	Оба рассматриваемых робототехнических комплекта содержат корпусные элементы, выполненные из пластика, а также крепежные изделия (винты, гайки). В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019, корпусные и крепежные элементы рассматриваемых робототехнических комплектов не представляют высокой электрической опасности, так как корпусные изделия не проводят ток и, а крепежные элементы не контактируют с токоведущими частями роботов.				
Подпись и дата	7.1.2 Электродвигатели				
	Электродвигатели робототехнических комплектов обеспечивают необходимое движение роботов или прочее функционирование. Электродвигатели обеспечивают безопасность работающих при вводе в эксплуатацию и эксплуатации при соблюдении требований, предусмотренных эксплуатационной документацией. Соответствие требованиям безопасности ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038 также обеспечивается следующими свойствами сервоприводов: <ul style="list-style-type: none">– электродвигатели имеют пластиковые корпуса (мотор-редуктор мобильного робота), металлические корпуса, исключаящих контакт работающего с их внутренними частями при нормальном режиме работы;– элементы конструкции электродвигателей не имеют острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих;				
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
БР – 15.03.06 ПЗ					Лист
					81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Перв. примен.		<ul style="list-style-type: none"> – конструкция электродвигателей исключает самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей за счёт их надёжного крепления. 																								
Справ. №		<p>7.1.3 Бортовые контроллеры</p> <p>Бортовые контроллеры получают электрическую энергию от аккумулятора, которой снабжают сервоприводы, датчики и приёмники беспроводного сигнала, а также осуществляют управление и обмен информацией с ними.</p> <p>Бортовые контроллеры обеспечивают безопасность работающих при вводе в эксплуатацию и эксплуатации при соблюдении требований, предусмотренных эксплуатационной документацией. Соответствие требованиям безопасности ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038 также обеспечивается следующими свойствами сервоприводов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – бортовые контроллеры имеют пластиковые корпуса, исключающих контакт работающего с их внутренними частями при нормальном режиме работы; – максимальное значение напряжения в электрических цепях обоих бортовых контроллеров – 5 В, что в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 не превышает предельно допустимого напряжения прикосновения продолжительностью в 1 с и более при аварийном режиме работы электроустановки; – элементы конструкции бортовых контроллеров не имеют острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих; – конструкция бортовых контроллеров исключает самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей за счёт их надёжного крепления. 																								
Подпись и дата																										
Инв. № дубл.																										
Взам. инв. №																										
Подпись и дата		<p>7.1.4 Аккумуляторные батареи</p> <p>Используемые аккумуляторные батареи имеют второй класс опасности по степени воздействия на организм человека.</p> <p>Кроме того, несоблюдение требований эксплуатационной документации может привести к снижению срока службы и даже к выходу из строя аккумуляторных батарей. В связи с этим, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.004 и ГОСТ 12.1.007, выполняются следующие мероприятия по обеспечению безопасности труда:</p> <ul style="list-style-type: none"> – организация обучения работающих правилам безопасности и обращения с аккумуляторными батареями; 																								
Инв. № подл.		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="153 2074 233 2107"></td><td data-bbox="233 2074 312 2107"></td><td data-bbox="312 2074 496 2107"></td><td data-bbox="496 2074 687 2107"></td><td data-bbox="687 2074 927 2107"></td><td data-bbox="927 2074 1469 2107" rowspan="2">БР – 15.03.06 ПЗ</td><td data-bbox="1469 2074 1540 2107">Лист</td></tr> <tr> <td data-bbox="153 2107 233 2141"></td><td data-bbox="233 2107 312 2141"></td><td data-bbox="312 2107 496 2141"></td><td data-bbox="496 2107 687 2141"></td><td data-bbox="687 2107 927 2141"></td><td data-bbox="1469 2107 1540 2141">82</td></tr> <tr> <td data-bbox="153 2141 233 2186">Изм.</td><td data-bbox="233 2141 312 2186">Лист</td><td data-bbox="312 2141 496 2186">№ докум.</td><td data-bbox="496 2141 687 2186">Подпись</td><td data-bbox="687 2141 927 2186">Дата</td><td colspan="2"></td></tr> </table>										БР – 15.03.06 ПЗ	Лист						82	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист																				
						82																				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																						

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Справ. №	Перв. примен.	<ul style="list-style-type: none"> – выбор конструкции аккумулятора, не допускающей выделение опасных веществ в окружающую среду; – при завершении срока службы или выходе из строя аккумуляторные батареи передаются в городской пункт приёма аккумуляторов; – использование зарядного устройства, гарантирующего выполнение правил зарядки за счёт автоматического контроля процесса зарядки аккумулятора; – использование соединителей, исключающих возможность самопроизвольного короткого замыкания аккумулятора.
							<p>7.1.5 Зарядные устройства</p> <p>Зарядные устройства преобразуют переменный ток сети 220 В в постоянный ток 5 В и производят зарядку аккумуляторных батарей в автоматическом режиме. Электробезопасность (ГОСТ 12.1.019) и пожаробезопасность (ГОСТ 12.1.004) обеспечивается следующими свойствами зарядных устройств:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие пластикового корпуса, исключающего контакт работающего и токоведущих частей; – безопасное расположение токоведущих частей; – отсутствие металлических нетокведущих частей; – наличие контакта для защитного провода; – применений рабочей изоляции; – наличие защитного отключения. <p>7.1.6 Кабели</p> <p>В комплектах имеются двух-, трёх- и четырёхжильные кабели питания и связи. Электрическая безопасность при обращении с кабелями обеспечивается следующими их свойствами:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие рабочей изоляции; – максимальное значение напряжения между жилами кабелей, кроме кабелей питания, составляет 5 В, что, согласно требованиям ГОСТ 12.1.038, не превышает предельного значения напряжения прикосновения постоянного тока при нормальном режиме электроустановки – 8 В; – напряжение между жилами кабелей питания обоих робототехнических комплектов составляет 5 В, что в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 не превышает предельно допустимого напряжения прикосновения продолжительностью в 1 с и более при аварийном режиме работы электроустановки;
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			<p>БР – 15.03.06 ПЗ</p>
							<p>Лист</p> <p>83</p>

Перв. примен.		Справ. №		<p>– концы проводов снабжены соединителями, исключающих возможность самопроизвольного короткого замыкания.</p> <p>7.1.7 Датчики, приемники и передатчики беспроводного сигнала</p> <p>Все датчики, а также приёмники и передатчики беспроводного сигнала используют постоянный ток с напряжением не более 5 В, что, согласно требованиям ГОСТ 12.1.038, не превышает предельного значения напряжения прикосновения постоянного тока при нормальном режиме электроустановки – 8 В.</p> <p>Приёмники и передатчики беспроводного сигнала, а также датчики измерения расстояния используют инфракрасное излучение, не представляющего опасности для кожи и глаз работающего, и, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.040, не требуют специальных средств защиты при обращении с ними.</p> <p>7.2 Безопасность исходных материалов</p> <p>Безопасность роботов обеспечивается использованием в конструкции преимущественно безопасных материалов и веществ. Согласно требованиям ГОСТ 12.3.002:</p> <ul style="list-style-type: none"> – материалы робототехнических комплектов не оказывают вредного действия на работающих. При использовании материалов, которые могут оказывать вредное воздействие, предусмотрены соответствующие средства защиты работающих; – использование новых веществ и материалов разрешено только после утверждения в установленном порядке соответствующих гигиенических нормативов. <p>Таблица 7.1 – Материалы, входящие в состав элементов робототехнических комплектов</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">Наименование материала</th> <th style="width: 30%;">Класс опасности</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Инженерный пластик (корпусные элементы, редукторы сервоприводов, корпуса датчиков и контроллера)</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Сталь (крепежные изделия)</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Медь (кабели питания и связи)</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> </tbody> </table>					Наименование материала	Класс опасности	Инженерный пластик (корпусные элементы, редукторы сервоприводов, корпуса датчиков и контроллера)	4	Сталь (крепежные изделия)	4	Медь (кабели питания и связи)	4
	Наименование материала		Класс опасности													
Инженерный пластик (корпусные элементы, редукторы сервоприводов, корпуса датчиков и контроллера)	4															
Сталь (крепежные изделия)	4															
Медь (кабели питания и связи)	4															
Изм. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подпись и дата	БР – 15.03.06 ПЗ					Лист				
													84			
	Изм.		Лист									№ докум.	Подпись	Дата		

Перв. примен.	Окончание таблицы 7.1																						
	<table border="1"> <tr> <th>Наименование материала</th> <th>Класс опасности</th> </tr> <tr> <td>Стеклотекстолит, фольга, полупроводниковые материалы и др. (печатные платы и электронные схемы бортовых контроллеров, сервоприводов и датчиков)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Литий-полимерные аккумуляторы</td> <td>2</td> </tr> </table>					Наименование материала	Класс опасности	Стеклотекстолит, фольга, полупроводниковые материалы и др. (печатные платы и электронные схемы бортовых контроллеров, сервоприводов и датчиков)	4	Литий-полимерные аккумуляторы	2												
Наименование материала	Класс опасности																						
Стеклотекстолит, фольга, полупроводниковые материалы и др. (печатные платы и электронные схемы бортовых контроллеров, сервоприводов и датчиков)	4																						
Литий-полимерные аккумуляторы	2																						
Справ. №	<p>Все вещества и материалы прошли гигиеническую проверку и поверку на пожароопасность. Материалы конструкции оборудования (таблица 8.1) не оказывают опасного и вредного воздействия на организм человека и не создают пожаровзрывоопасные ситуации при выполнении предусмотренных условий эксплуатации.</p> <p>7.3 Механизация и автоматизация технологических операций</p> <p>Сервоприводы роботов снабжены автоматическим контролем питающего напряжения, температуры и крутящего момента. В случае превышения данными параметрами допустимых пределов соответствующий сервопривод автоматически выключается и сигнализирует об аварии путем включения-выключения расположенного на нём светодиода.</p> <p>7.4 Безопасность органов управления</p> <p>Конструкции органов управления роботами обеспечивает оптимальные условия труда и была выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.064, ГОСТ 12.2.061, ГОСТ 12.2.003:</p> <ul style="list-style-type: none"> – командные устройства (кнопки бортового контроллера и джойстика дистанционного управления), снабжаются надписями или символами, указывающими управляемый объект, к которому они относятся, его назначение и состояние («включено», «отключено» и т.п.), соответствующее данному положению органа управления; – органы управления имеют средства экстренного (аварийного) выключения; – расстояние между органами управления исключает возможность изменения положения органа управления при манипуляции со смежным органом управления; – органы управления, имеющие фиксацию в установленном положении, снабжены указателем, показывающим положение и необходимое направление перемещения органа управления. 																						
	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.																		
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">БР – 15.03.06 ПЗ</td> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> <td></td> </tr> </table>										БР – 15.03.06 ПЗ	Лист						85	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	
					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист																	
						85																	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																			

Перв. примен.	<p>При монтаже и эксплуатации должны соблюдаться:</p> <ul style="list-style-type: none">– правила устройства электроустановок;– правила технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. <p>7.7 Безопасность при транспортировке и хранении</p> <p>Масса каждого робота не превышает 3.5 кг, поэтому комплекты не требуют применения грузоподъёмных средств в процессе монтажа, транспортировки, хранения и ремонта.</p> <p>Как агрегаты, собранные из элементов робототехнических комплектов, так и элементы в отдельности не требуют особых условий хранения, кроме соблюдения температурного режима (от -15 до +40 °С) и относительной влажности 40-60%.</p> <p>Роботы могут транспортируются в упаковочных тарах, исключающих взаимного перемещения элементов, упакованных внутри.</p> <p>7.8 Безопасность при размещении</p> <p>Согласно требованиям, ГОСТ 12.3.002, СНиП 31-01-03:</p> <ul style="list-style-type: none">– лабораторные (рабочие, монтажные) площадки, на которых выполняются работы, соответствуют требованиям действующих строительных норм и правил, а также правил, утвержденных органами государственного надзора;– организация рабочих мест отвечает требованиям безопасности с учетом эргономических требований, устанавливаемых в государственных стандартах на конкретные производственные процессы, производственное оборудование и рабочие места. <p>7.9 Требования безопасности к профессиональному отбору</p> <p>К обслуживанию роботов допускаются лица:</p> <ul style="list-style-type: none">– прошедшие инструктаж, обучение и проверку знаний по охране труда;– не имеющие медицинских противопоказаний. <p>7.10 Пожарная безопасность</p> <p>Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07. С учётом этих</p>																						
	Справ. №																						
Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.																		
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">БР – 15.03.06 ПЗ</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>87</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td></tr></table>											БР – 15.03.06 ПЗ	Лист						87	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист																	
						87																	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																			

Перв. примен.	показателей выбран тип исполнения, вид взрывозащиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги.														
	<p>Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается работа с робототехническими комплектами, необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:</p> <ul style="list-style-type: none"> – организационные (инструктаж персонала, разработка плана эвакуации и т.д.); – технические (устройство не горючих перегородок); – режимные (курение в специальных местах); – эксплуатационные (профилактические осмотры). 														
Справ. №	7.11 Контроль выполнения требований безопасности														
	<p>Контроль над выполнением требований безопасности при эксплуатации электропривода возлагается на должностные лица в соответствии с правовыми и нормативными документами по созданию безопасности и нормальных условий труда.</p>														
Подпись и дата	7.12 Безопасность при чрезвычайных ситуациях														
	<p>При возникновении ЧС необходимо:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) отключить электропитание бортовых контроллеров роботов и лаборатории; 2) выполнить предписание должностных инструкций; 3) покинуть здание и поступить в распоряжение начальника ГО и ЧС. 														
Инв. № дубл.	7.13 Экологическая безопасность робототехнических комплектов														
	<p>Одним из экологических показателей является экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования. При изготовлении и эксплуатации робототехнических комплектов выполнены все нормативные природоохранные требования. В конструкции элементов комплектов применены преимущественно безопасные и экологичные в соответствии со стандартами ССБТ и охраны окружающей среды, сертифицированные материалы и вещества, прошедшие гигиеническую проверку и проверку на пожароопасность. Потенциально опасные элементы (аккумуляторные батареи) имеют конструкцию, не допускающую выделение опасных веществ в окружающую среду, а при завершении срока службы или выходе из строя аккумуляторные батареи передаются в городской пункт приёма аккумуляторов.</p>														
Взам. инв. №															
Подпись и дата															
Инв. № подл.															
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ докум.</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						<div>Лист</div> <div>88</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата											
БР – 15.03.06 ПЗ															

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Перв. примен.	Справ. №	<div>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</div> <div><p>В ходе дипломного проектирования были решены поставленные задачи, а именно были выбраны и описаны технические средства для реализации робототехнической мультиагентной системы. Проанализирована программа управления комплекта беспилотного летательного аппаратаDJI 450KИти интегрирована в систему управления робототехнической мультиагентной системы посредством скрипта на языке программирования Python.Разработанакинематическая модельмобильного робота, программауправления мобильным роботом, верхний уровень управления мультиагентной системы. Была разработана система технического зрения с использованием 3D-сенсора для робототехнической мультиагентной системы. Эксперименты подтвердили адекватность и эффективность выбранных методов.</p><p>Было приведено технико-экономическое обоснование проекта, которое показало, что основные расходы связаны с приобретением оборудования и программного обеспечения.</p><p>Безопасность и экологичность проекта соответствует нормам и стандартам, установленным в Российской Федерации.</p></div>				
							Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

90

